Gianfranco Basti

# Filosofia della Natura e della Scienza - I

Gianfranco Basti

# Filosofia della Natura e della Scienza

## 1: I Fondamenti

Lateran University Press

# 0. Introduzione Generale

*Alcuni cenni sulla finalità e la struttura di questo lavoro e sui contenuti del presente volume*

## 0.1 Quadro generale dell'opera

Questo lavoro vuole essere un manuale con l'obiettivo ambizioso di definire un legame sistematico fra queste due discipline, *la filosofia della natura* e la *filosofia della scienza*, nelle loro relazioni spesso problematiche con *le scienze matematiche e naturali*.

*La filosofia della natura* è, infatti, una disciplina speciale della *metafisica generale*, che ha per oggetto l'universo degli *enti fisici* con le loro specifiche *strutture*, *proprietà* e *relazioni causali*, studiate al livello della loro *ontologia fondamentale*. La filosofia della natura si distingue perciò dal complesso delle *scienze naturali* (fisiche, biologiche e cognitive) che, nella loro accezione moderna, si limitano allo studio dei *fenomeni naturali*, in quanto misurabili, e delle *leggi*, solitamente formalizzate con l'ausilio del linguaggio matematico, che governano *l'evoluzione nel tempo* di questi fenomeni.

*La filosofia della scienza* è invece una disciplina recente nel panorama filosofico che data meno di un secolo. Essa si caratterizza come disciplina speciale della *filosofia della conoscenza* o *gnoseologia*, ed ha per oggetto *i fondamenti logici ed epistemologici* delle scienze naturali e matematiche. Spesso, però, proprio per l'eclisse della filosofia della natura nella cultura moderna, essa è venuta a svolgere un ruolo vicario della filosofia della natura, impegnandosi in questioni ontologiche se non direttamente metafisiche, quali p.es., l'origine e il destino dell'universo in cosmologia, la natura della materia, dello spazio, del tempo nelle scienze fisiche, o della vita nelle scienze biologiche o dell'intelligenza e della mente nelle scienze cognitive.

Essendo la questione dei fondamenti la chiave di volta per comprendere i difficili rapporti fra scienza e metafisica nella modernità e, oggi, anche fra filosofia della scienza e filosofia della natura, lo svolgimento di queste problematiche nelle prime due parti dell'opera, prenderà metà del lavoro.

L'opera si divide pertanto in due volumi. Il Primo Volume è dedicato esclusivamente alla Prima e alla Seconda Parte dell'opera, ovvero alla definizione del quadro storico e teoretico della problematica dei fonda-

menti. Il Secondo Volume è dedicato invece alle altre tre Parti che riguardano le applicazioni dei principi logici e metafisici, discussi nel Primo Volume, agli oggetti delle scienze fisiche, biologiche e cognitive.

Volume I: Filosofia della Natura e della Scienza. I Fondamenti

*Parte Prima: Inquadramento Storico della Problematica.* – 0. Introduzione – 1. Le scienze: dalle origini al XIX secolo – 2. Il XX secolo e le sue rivoluzioni scientifiche – 3. La ricerca sui fondamenti nel XX secolo.

*Parte Seconda: Inquadramento Teoretico della Problematica.* – 4. Filosofia della natura e filosofia della scienza. – 5. Metafisica classica e pensiero moderno. – 6. Accenni ad una metafisica dell'ente fisico.

Volume II. Filosofia della Natura e della Scienza. Scienze Fisiche, Biologiche e Cognitive

*Parte Terza: Le Scienze Fisiche e il Loro Oggetto.* – 1. La struttura della materia e la sua complessità – 2. Cosmologia scientifica e origini dell'universo

*Parte Quarta: Le Scienze Biologiche e il Loro Oggetto.* – 3. Le diverse ontologie del vivente e le scienze biologiche. – 4. Ipotesi scientifica dell'evoluzione e origini della vita.

*Parte Quinta: Le Scienze Cognitive e il Loro Oggetto.* – 5. Funzioni cognitive e le loro basi neurofisiologiche – 6. Libertà e determinismi psico–fisici – 7. Unità psicofisica della persona e origini della vita umana.

## 0.2 Contenuti di questo volume

### 0.2.1 Un consiglio per la lettura

Tre suggerimenti per leggere il libro

La vastità e la complessità di questo primo volume dell'opera, sembrano apparentemente contraddire il desiderio di farne un manuale. Allo scopo di facilitarne comunque la lettura, oltre che gli indici e il glossario dei termini scientifici alla fine del volume, sono stati introdotti al termine di ciascun capitolo — eccetto questo primo introduttorio — dei sommari che sintetizzano il contenuto dei rispettivi capitoli.

Il consiglio che diamo al lettore e soprattutto allo studente, è quello di procedere per gradi nella lettura di questo volume.

1. *Innanzitutto, leggere con attenzione quest'introduzione* che chiarisce gli scopi dell'intero lavoro, inserendolo nel dibattito moderno e contemporaneo sull'argomento, e sintetizza lo sviluppo logico dell'intera trattazione. A questo scopo, sono stati introdotti dei frequenti rimandi alle parti del libro dove gli argomenti accennati in quest'introduzione

sono sviluppati. Il lettore più smaliziato potrà così immediatamente accedere alle parti di questo lavoro che più lo interessano.

2. *In secondo luogo, leggere di seguito i sommari dei capitoli.* A questo secondo livello di approfondimento si può avere un'idea più chiara dello svolgimento dell'opera nelle sue diverse diramazioni, ma allo stesso tempo nella sua sostanziale unità.

3. *In terzo luogo, cominciare a leggere il contenuto dei capitoli,* approfondendo a cerchi concentrici il tema dell'intero lavoro.

## 0.2.2 Verità e causalità nella scienza

Tre questioni basilari oggetto del volume

In questo primo volume, dedicato ai «fondamenti», esamineremo alcune questioni basilari riguardo al problema del rapporto fra filosofia della natura e scienze della natura, da una parte, e fra filosofia della natura e filosofia della scienza dall'altra. Due sono le questioni, d'immediato spessore metafisico, sulle quali in particolare ci concentreremo, di particolare rilevanza per il pensatore moderno:

1. Verità e realismo della conoscenza scientifica

- Il problema della *verità* e del *realismo* delle costruzioni scientifiche nelle scienze naturali, con particolare riferimento, dall'interno del metodo ipotetico–deduttivo, alla questione del fondamento reale delle *ipotesi* che sono alla base delle diverse teorie scientifiche, contro la tesi, comune tanto al neo–positivismo logico che al falsificazionismo popperiano, del carattere non razionale dell'invenzione e della costituzione delle medesime.

2. Necesità logica, necessità causale e loro relazione

- Il problema della *causalità* e del suo *fondamento* nelle scienze naturali in relazione al problema della *necessità* logica delle dimostrazioni e del suo *fondamento*. È noto che pensiero classico e pensiero moderno sono agli antipodi riguardo a questo problema. Mentre per il pensiero classico, in particolare aristotelico–tomista, era la necessità delle *relazioni reali* (causali) — quelle che determinano l'esistenza (o essere comune) e l'entità (o essere dell'essenza) degli enti naturali individuali — a fondare per astrazione quella delle *relazioni logiche,* per il moderno dopo Kant è vero esattamente il contrario. È la necessità *dell'autoevidenza* dell'a-priori logico, della relazione formale fra antecedente e conseguente logico, a fondare la necessità della relazione causale fra predecessore e successore empirico, posti in successione temporale ed *evidenti* per la conoscenza sperimentale. In tal modo, Kant pretendeva di trovare una soluzione al famoso «problema di Hume» dell'induzione. Una soluzione che derivava da due supposizioni tacite:

Critica al modello humiano-kantiano di causalità nelle scienze:
a. Relazione causale fondata sul tempo e quindi sulla coscienza

**a.** Quella di legare la relazione causale esclusivamente alla relazione *temporale* fra predecessore e successore del processo, perché veniva preso a paradigma della causalità nelle scienze naturali quello della *meccanica**[1] newtoniana dei sistemi dinamici integrabili, dove lo stato finale del processo dipende *univocamente* dalle condizioni iniziali. In tal modo si legava una prima volta la causalità alla coscienza del fenomeno, invece che all'essere dell'ente, giacché senza coscienza non c'è neanche tempo.

b. Fondamento apodittico della necessità basato sull'evidenza e quindi sulla coscienza

**b.** Quella del fondamento *apodittico* degli a-priori logici, fondamento basato sul principio cartesiano dell'evidenza. L'evidenza non solo dei primi principi della logica formale (principio di non contraddizione, d'identità, etc.) e della loro applicazione all' «essere in quanto essere» della metafisica, com'era per il pensiero classico, ma anche dei postulati delle diverse scienze. Innanzitutto erano considerati autoevidenti e dunque apodittici i postulati della *geometria** euclidea nella sua forma «algebrica» o «analitica» proposta da Descartes. Ma, dopo Newton, erano considerati tali anche i tre postulati (leggi) fondamentali della *meccanica**. In tal modo si perdeva la distinzione classica fra *assiomi* autoevidenti (o «primi principi» della logica e della metafisica) e *postulati* (o «primi principi» delle diverse discipline scientifiche, fisiche e matematiche), tutt'altro che autoevidenti per il pensiero classico — si pensi solo alle difficoltà che proprio il famoso quinto postulato di Euclide faceva ai matematici antichi —, visto che non riguardavano l'essere comune (esistenza) di qualsiasi ente come per la metafisica generale, ma l'essere proprio (entità) delle diverse specie di enti fisici e logico–matematici. I primi principi delle diverse scienze, lungi perciò dall'essere auto-evidenti, erano per il pensiero classico e soprattutto per la tradizione aristotelica autentica, legati allo studio degli oggetti propri delle diverse scienze, essendo essenzialmente di carattere *induttivo.*

Viceversa, il pensiero moderno, pretendendo di estendere l'autoevidenza propria degli assiomi metalogici della logica formale e della metafisica generale ai postulati logici delle diverse scienze ed in particolare della matematica (Descartes) e della

[1] I termini contrassegnati con l'asterisco «*» sono definiti nel «Glossario», aggiunto in Appendice alla fine del libro, perché sono termini che non vengono definiti e spiegati nel corso della trattazione. D'altra parte, per la comprensione piena del testo è importante poterli supporre conosciuti dal lettore, nella loro accezione comune nel linguaggio filosofico e scientifico. Generalmente, questi termini sono contrassegnati solo la prima volta che vengono usati nel corso della trattazione.

fisica (Newton), *legava una seconda volta la scienza al carro della coscienza.* Questa volta al carro dell'autocoscienza, in quanto fondamento «trascendentale» o pre–categoriale, dell'autoevidenza degli assiomi delle diverse scienze matematiche e naturali, nonché di una metafisica «critica» — quella kantiana — molto diversa da quella classica. Infatti in essa le tre «idee» della metafisica razionalista wolffiana (Dio, anima, mondo) erano ridotte ad altrettanti postulati fideistici, autoevidenti per la ragion pratica, per l'etica formalista del «dovere per il dovere».

Trascendentale classico e moderno

I due problemi appena ricordati, quello della *verità* e quello della *causalità,* sono così intimamente legati, ed il legame consiste nel fondamento trascendentale della verità: o *la coscienza trascendentale* e *le relazioni logiche* del pensiero moderno, o *l'essere* e *le relazioni reali* (causali) del pensiero classico.

## 0.2.3 Strumentalizzazioni della filosofia e della scienza

Post-moderno e superamento opposizione classico-moderno

La domanda principale alla quale questo libro cerca di dare una risposta è dunque la seguente: questa contrapposizione fra classicità e modernità ha ancora senso o è stata irrimediabilmente «superata», in un senso quasi–hegeliano del termine, dal pensiero post-moderno? Un senso dialettico di «superamento» che si giustificherebbe per il carattere antitetico della suddetta contrapposizione fra classicità e modernità.

Sebbene io non sia per nulla un hegeliano, la tesi di questo libro è che occorre dare una risposta positiva al quesito appena posto. Il post–moderno in cui viviamo è tutt'altro che giustapposizione artificiosa di pezzi di classicità e di modernità, non è «il circondare di luce al neon un capitello corinzio» come qualcuno malato di nostalgia della vetero–modernità si ostina ancora a sostenere. In ontologia, in logica ed in epistemologia — i tre campi d'indagine in cui questo lavoro si sviluppa — il post–moderno, come noi pensatori del terzo millennio possiamo costruirlo, è l'occasione storica che si pone al pensiero contemporaneo per riprendere in forma nuova e sintetica «l'essenziale» della classicità — il contenuto, «l'essere» — e «l'essenziale» della modernità — la forma, «il rigore critico dell'indagine» —, aldilà, sia delle beate ingenuità del pensiero classico, sia del criticismo iconoclasta ed autolesionista della vetero–modernità. Una sintesi che, della classicità e della modernità che furono, può finalmente «sciacquar via» quelle scorie — ancora un riferimento hegeliano, stavolta al famoso «caput mortuum» dell'*Enciclopedia* — che ambedue condividevano e che hanno oscurato lo splendore di ambedue, divenendo anche il motivo profondo della loro contrapposizione irriducibile, ideologica, per tutta l'età moderna. E quelle scorie hanno un'identità comune, ben precisa per ambedue i duellanti. La pretesa che

comune, ben precisa per ambedue i duellanti. La pretesa che la metafisica da una parte e la scienza dall'altra costituiscano ciascuna una forma di *sapere assoluto e autosufficiente*, in grado ognuna di ridurre l'altra a se stessa.

L'origine dell'opposizione fra classico e moderno nella questione galileiana

Da una parte abbiamo infatti una metafisica ideologizzata, incarnata al principio dell'età moderna dalla posizione di alcuni filosofi «aristotelici» di Firenze e Pisa e della parte più retriva di coloro che si opponevano a Galilei. Essi pretendevano di derivare i principi della «filosofia naturale» dagli assiomi della metafisica aristotelica, dimenticando che per Aristotele stesso e per una gran parte della tradizione aristotelica — quella della grande scolastica inclusa, a cominciare da Tommaso d'Aquino — i postulati delle scienze fisiche erano di origine *induttiva,* non deduttiva dai principi metafisici, e le dimostrazioni cui davano luogo, siccome riguardavano processi causali *contingenti,* avevano un valore *ipotetico.* Di siffatte leggi, dunque, occorreva, volta per volta, controllarne sperimentalmente l'adeguatezza, la verità al caso concreto.

Falsa contrapposizione fra due saperi apodittici: fisico e metafisico

D'altra parte abbiamo, invece, una scienza fisico–matematica delle origini della modernità che, per rivendicare una giusta autonomia dalla metafisica, pretese di dare un fondamento alle sue dimostrazioni altrettanto *apodittico, assoluto* come quello della metafisica, e non *ipotetico* e *relativo* ai contesti di applicazione delle proprie dimostrazioni, basandole sulla presunta *autoevidenza* dei suoi postulati. Sia i postulati della geometria euclidea, nella sua progressiva algebrizzazione iniziata da Descartes e applicata da Leibniz e Newton alla nascente *analisi matematica** ed alle sue applicazioni alla meccanica; sia le tre leggi della *dinamica**, secondo la sua moderna sistematizzazione newtoniana.

Differenti strumentalizzazioni ideologiche di questa contrapposizione

In tal modo, si posero le basi per una strumentalizzazione ideologica della scienza moderna che va sotto il nome di «scientismo», dove alla pretesa riduzionista della metafisica razionalista nei confronti della fisica propugnata dagli aristotelici anti–galileiani, si contrapponeva la pretesa riduzionista di chi, in nome della «modernità», voleva ridurre teologia e metafisica classiche a semplice «superstizione». Su questa strada della contrapposizione ideologica si arrivò ben presto, infatti, ad identificare nella scienza e nella filosofia moderne il nuovo paradigma della ragione, quella del «rischiaramento illuminista», contro «le oscurità» della superstizione e della conservazione, opposte alle forze di «progresso». Fu questa radicalizzazione dello scontro che portò Hegel ad elaborare la teoria delle «due culture» e a teorizzare la necessità logica ed insieme storica, in base al suo metodo storico–dialettico, dell'ineluttabile «superamento» della prima ad opera della seconda.

Età moderna come età delle visioni del mondo

È difficile allora dar torto a Heidegger che definiva l'età moderna come «l'età delle *visioni del mondo*». Un'età che, causa gli stravolgimenti tanto in

campo scientifico che filosofico durante il XIX e la prima metà del XX secolo, sembra a sua volta irrimediabilmente «superata», tanto da giustificare — nell'attesa di una definizione migliore — la designazione di «post-moderni» per i tempi apparentemente «senza certezze assolute» — né quelle metafisico–teologiche della classicità, né quelle scientifiche della modernità — che oggi viviamo.

Anticipando sinteticamente quanto cercheremo di mostrare nel resto di questo volume, vale la pena allora di soffermarsi un momento, in questa introduzione, su alcuni aspetti teoretici della «questione galileiana», paradigmatica della contrapposizione moderna fra le due culture, non solo e non tanto per il suo valore simbolico, quanto perché le questioni ivi affrontate ed il modo di impostarle condizioneranno il resto dello sviluppo storico di questa contrapposizione. Oggi, infatti, quando la Chiesa, da una parte, e la riflessione metodologica sulla scienza dall'altra, molto prima della Chiesa, hanno fatto il loro rispettivo *mea culpa,* rinunciando per sempre alla falsità ideologica dei loro presunti ed opposti assolutismi riduzionisti, è possibile guardare con maggiore distacco ed obbiettività alla questione, identificando negli errori passati l'indicazione della strada da percorrere per gli sviluppi futuri. Per la costruzione, cioè, di una sintesi nuova fra metafisica e scienze della natura che possa fornire del «post–moderno», una *connotazione** «positiva» e non solo «negativa» di pura e semplice negazione degli «–ismi» ideologici antichi e moderni.

## 0.2.4 Questione galileiana

La doppia sconfitta di Galilei e Bellarmino nella modernità e la loro rivincita post-moderna

Ad una prima lettura, infatti, si può dire che la rivoluzione scientifica e teologica dei secoli XIX e XX ha dato ragione ai due «campioni» degli opposti fronti, il Cardinale Roberto Bellarmino e Galileo Galilei che si trovarono uniti nella lotta e nella sconfitta, in nome di principi consolidati nella stessa tradizione autentica aristotelica e scolastica, contro l'aristotelismo integralista dei filosofi naturali e dei loro adepti teologi. Storicamente, spetta infatti al Bellarmino, l'aver proposto nel 1615, ad un padre carmelitano di Napoli — che aveva scritto un volumetto in cui cercava di conciliare le teorie copernicane con le affermazioni della Bibbia — e allo stesso Galilei, all'epoca del suo famoso viaggio a Roma del 1615 per scongiurare la Chiesa a non prendere posizioni ufficiali contro il copernicanesimo, di trattare il medesimo solo come *ipoteticamente* e non *apoditticamente* vero (Drake 1990).

Il rischio neo-gnostico nel concepire la fisica-matematica come sapere assoluto, altra via, oltre la Rivelazione, per conoscere il pensiero di Dio

Da esperto teologo e raffinato epistemologo, Bellarmino sapeva bene infatti quale fosse il pericolo teoretico insito nell'affermare un valore *apodittico* delle dimostrazioni fisico–matematiche. Si corre un grave rischio se come Galilei, peraltro in perfetta buona fede, talvolta aveva affermato — basandosi sulla premessa, indubitabile per l'uomo di fede, che è il medesimo Dio che ha fatto la natura e ha parlato nella Bibbia —, si concepisce la scienza fisico–matematica come un'altra via, parallela a quella scritturistica della Rivelazione, per attingere al pensiero stesso di Dio, leggendo dal «gran libro della Natura». Un libro scritto da Dio, secondo Galilei, in linguaggio matematico. Il rischio è quello di svalutare la Rivelazione come unica via aperta all'uomo di fede per attingere alla mente di Dio, unica depositaria della *verità assoluta* per il credente. Per ciò stesso il rischio diviene quello di concepire la fede neo–gnosticamente come «rifugio per gli ignoranti», fino ad arrivare — come in effetti si arrivò con Spinoza alla fine del XVII secolo — all'equazione fra «Dio» e il «determinismo geometrico delle leggi di natura»: *Deus sive natura.*

L'evoluzione atea di tale concezione: *Deus sive Natura* di Spinoza

In tal modo, non solo si ponevano le basi per l'ateismo teoretico della modernità, ma si apriva la strada a quel programma anti–metafisico e anti–religioso che caratterizza lo sfruttamento ideologico della scienza moderna e che va sotto il nome di «scientismo». Quando, dunque — tanto per esemplificare fino al limite della banalizzazione quanto Spinoza suggeriva con la sua equazione Dio–natura — l'uomo religioso vedesse in un certo evento naturale il segno di una causalità provvidenziale, finalistica, del Creatore da cui l'ordine dell'universo procede, e il fisico vedesse nel medesimo evento il risultato di certe leggi di natura, non starebbero confrontandosi con il medesimo oggetto complesso, secondo due piani d'indagine del tutto distinti ed in qualche modo incommensurabili, dunque mai in contraddizione fra di loro. Al contrario, data l'equazione Dio – leggi di natura, staremmo di fronte a due enunciati equivalenti che affermano ambedue l'accadimento deterministico di un evento, l'uno con il linguaggio pre-scientifico dell'antica superstizione, l'altro con il linguaggio razionale della moderna scienza.

Il riduzionismo scientista

Era questa del riduzionismo scientista e neo–gnostico l'autentica preoccupazione, tutt'altro che infondata come la storia seguente si è presa la briga di dimostrare, che animava i teologi più consapevoli — a parte le strumentalizzazioni degli integralisti — nella complessa questione galileiana che è all'origine della nascita del pensiero moderno.

Validità teologica della distinzione galileiana fra verità di fede e verità scientifica

Dunque, l'equazione fra il Dio creatore e il Dio della rivelazione è perfettamente valida quando viene invocata da Galilei nella sua famosa *Lettera a Castelli* del 1613 come principio per giustificare il valore metaforico di certe affermazioni della Bibbia su fenomeni naturali, quando apparissero in contrasto con l'evidenza fisico–matematica. In tal modo, in questioni pu-

ramente fisiche, la Bibbia «dovrebbe essere riservata nell'ultimo luogo», dopo che tutte le evidenze empiriche sono state attentamente considerate. D'altra parte, ricordava ancora Galilei, nella *Lettera alla Granduchessa Cristina* del 1615, è sempre valido il consiglio di Sant'Agostino di non fare articolo di fede alcuna posizione astronomica, altrimenti qualche eretico meglio informato nella scienza potrebbe sfruttare ogni errore per gettare dei dubbi su dottrine propriamente teologiche. Era perciò formalmente scorretto da parte dei filosofi e dei teologi integralisti invocare l'autorità delle Scritture per giustificare la teoria geocentrica.

Riconoscimento ufficiale da parte della Chiesa della validità di tale distinzione

La Chiesa cattolica nel XX secolo, innanzitutto col Concilio Vaticano II, nella Costituzione *Dei Verbum* sulla divina rivelazione ha fatto propria solennemente questa teoria dei diversi generi letterari di cui Galilei è stato pioniere, inserendola come parte costitutiva della propria dottrina sull'interpretazione autentica del senso delle Scritture. Infine, a partire dal 1978, fino alla solenne proclamazione nel 1992 della Commissione costituita *ad hoc*, la Chiesa stessa, per bocca dello stesso Papa Giovanni Paolo II, ha ampiamente riconosciuto come Galilei si fosse in questo mostrato teologo migliore di quelli dell'Inquisizione che lo condannarono nel 1633, chiudendo così definitivamente la secolare questione.

## 0.2.5 Ipoteticità e verità

Il vero problema della questione galileiana: il valore epistemico delle ipotesi scientifiche

In questa luce, dunque, ad un primo esame, si può dire che il pensiero (post–) moderno contemporaneo si è affrancato dagli errori che dall'una e dall'altra parte hanno caratterizzato gli inizi della modernità, riconoscendo il carattere *ipotetico* di ogni teoria scientifica, tanto fisica che matematica, ed allo stesso tempo la sua autonomia *epistemologica* dalla metafisica e dalla teologia, nella consapevolezza ormai maturata nella mentalità contemporanea che non possono esistere teorie, né scientifiche, né filosofiche o metafisiche con la pretesa dell'onnicomprensività, dell'esclusività e della definitività sulla verità come lo stesso Papa Giovanni Paolo II ha ribadito solennemente nell'*Enciclica Fides et Ratio* del 1998.

> I filosofi per primi, d'altronde, comprendono l'esigenza dell'autocritica, della correzione di eventuali errori e la necessità di oltrepassare i limiti troppo ristretti in cui la loro riflessione è concepita. Si deve considerare, in modo particolare, che una è la verità, benché le sue espressioni portino l'impronta della storia e, per di più, siano opera di una ragione umana ferita e indebolita dal peccato. *Da ciò risulta che nessuna forma storica della filosofia può legittimamente pretendere di abbracciare la totalità della verità, né di essere la spiegazione piena dell'essere umano, del mondo e del rapporto dell'uomo con Dio* (n° 51. Corsivi miei).

Ipoteticità dei sistemi formali e verità relativa, universale e necessaria, dei loro modelli applicativi

Ma, pur se tutto ciò resta sostanzialmente vero, le cose non sono così semplici come da questa prima disanima potrebbe apparire. Resta, infatti, in base a quest'analisi del tutto irrisolta la questione del rapporto fra *l'ipoteticità* delle teorie scientifiche, in quanto sistemi formali, e la relativa, limitata, ma autentica *verità* e dunque *universalità* e *necessità* dei modelli da essa derivati, nella loro applicazione, sperimentale e/o tecnologica, allo studio dei loro oggetti *reali* d'indagine.

Natura ideologica della credenza di formulazioni assolute della verità nei sistemi formali e necessità della verità parziale dei loro modelli applicativi rispetto determinati oggetti

Se infatti è perfettamente corretto affermare che la *consistenza** (relativa) di una dimostrazione puramente formale — come pura manipolazione di segni linguistici senza alcun contenuto semantico, senza valore simbolico — è del tutto indipendente dalla verità delle premesse — in un ragionamento ipotetico conseguenze vere possono essere validamente tratte da premesse sia vere che false —, non così è per i modelli semantici derivati da quel *sistema formale**. Nell'uso applicato di un sistema formale allo studio di un determinato oggetto d'indagine, ovvero nell'uso all'interno delle diverse scienze naturali ed applicate di una teoria formale, diviene essenziale poter decidere sotto quali condizioni, entro quali limiti certe premesse sono vere, cioè adeguate all'oggetto di studio, e dove invece vanno modificate per adeguarle al loro oggetto mutevole. Insomma, un conto è dire che *non esiste, non è mai esistita né mai esisterà, perché logicamente non può esistere una formulazione assoluta e completa della verità in un sistema dimostrativo* riguardo qualsiasi oggetto (ente) limitato o assoluto[2] che sia; un conto è dire che non esistano né possano esistere *formulazioni limitate, ma proprio per questo autentiche e limitatamente autenticabili della verità in una teoria deduttiva* riguardo determinati oggetti. La prima affermazione non solo non esclude, ma in qualche modo implica la seconda. La verità della prima affermazione, che nega l'esistenza di formulazioni assolute e complete della verità in sistemi dimostrativi, può essere validamente intesa come vera solo limitatamente, mai assolutamente, altrimenti si autocontraddirebbe da sola. E questo con buona pace di tante vulgate nichiliste del pensiero logico ed epistemologico oggi tanto di moda.

---

[2] Affermare che non esistono formulazioni dimostrative assolute della verità riguardo un qualsiasi ente non equivale a dire che non possano esistere *tout-court* affermazioni vere riguardo ad un eventuale Ente Assoluto, qualora se ne postuli o se ne dimostri l'esistenza. L'Assoluto e il Perfetto può essere oggetto d'indagine e di teorizzazione vera, tanto quanto il relativo ed il limitato (contro il nichilismo). L'importante è che non si pretenda mai che una certa teorizzazione dell'Assoluto possa essere a sua volta assolutamente vera (contro l'integralismo). La verità assoluta, cioè, non può mai essere attinta tutt'intera dalla ragione umana, ma solo parzialmente e in forma indefinitamente progressiva. Ed anche quando rivelata dalla Mente Divina, la verità assoluta può essere compresa dalla mente umana, per la sua limitatezza, in forma sempre perfettibile e mai definitiva («lo Spirito vi guiderà alla verità tutt'intera» diceva Gesù nel Vangelo di Giovanni). In questo senso va intesa l'affermazione tradizionale della teologia e della metafisica dell'esistenza di un'unica Verità Assoluta, cui le teorizzazioni umane possono attingere solo parzialmente.

## 0.2.6 Due errori

A parte la difficoltà teoretica della questione di cui mai come oggi la riflessione logica ed epistemologica è consapevole, tutta una serie di *errori teoretici e storici,* tanto all'inizio quanto alla fine della modernità, hanno reso ulteriormente intricata e quasi inestricabile la questione.

### 0.2.6.1 Assolutizzazione della metafisica

Uso ideologico della soluzione di Bellarmino da parte del razionalismo metafisico anti-scientifico: ipotesi come finzioni mentali senza fondamento reale

*Il primo e fondamentale errore* riguarda l'uso ideologico, sostanzialmente scorretto, fatto dai filosofi aristotelici nell'antichità, e ripreso da certi filosofi e teologi ai tempi di Galileo, del saggio e profondo suggerimento del Bellarmino sull'ipoteticità delle teorie fisico–matematiche. Per capire in cosa consistesse la scorrettezza teoretica di cui qui stiamo parlando, bisogna inquadrare storicamente la soluzione proposta dal Bellarmino. Tale soluzione ricalcava quella ben più antica che, nel II secolo a.C., Gemino propose per conciliare le osservazioni e le misurazioni astronomiche di Ipparco di Samo, che contraddicevano la teoria delle sfere celesti omocentriche con al centro la terra. Una teoria che Aristotele nella sua *Metafisica* aveva mutuato da Eudosso e che nel II secolo d.C. sarà ripresa da Tolomeo, corretta con la sua famosa teoria degli «epicicli». Secondo la testimonianza di Simplicio, commentatore della *Fisica* di Aristotele del VI sec. d.C. e riportata da Stillman Drake nel suo libro di ricostruzione della questione galileiana (Drake 1990, 59s.),

Le origini classiche di tale strumentalizzazione nel pensiero greco del II sec. a.C.

> Il commento di Gemino, che è ispirato alle idee di Aristotele, è il seguente (…). L'astronomia spiega unicamente le cose che può stabilire per mezzo dell'aritmetica e della geometria. In molti casi l'astronomo da una parte e il fisico (cioè il filosofo naturale, nell'accezione aristotelica del termine, *N.d.R.*) dall'altra si proporranno di provare lo stesso punto, per esempio che il Sole è molto grande o che la terra è sferica; ma non procederanno per la medesima strada. Il fisico dimostrerà ogni fatto con considerazioni di essenza o sostanza, di forza, di come sia bene che le cose siano così come sono, o di generazione e di cambiamento.
> L'astronomo dimostrerà le cose in base alle proprietà delle figure o delle grandezze o attraverso la quantità del movimento e del tempo ad esso appropriato. In molti casi, un fisico può giungere inoltre alla causa, osservando la forza creativa; ma l'astronomo, quando dimostra fatti da condizioni esterne, non è qualificato a giudicare della causa, come quando per esempio afferma che la Terra o le stelle sono sferiche. E talvolta egli non desidera nemmeno accertare la causa, come quando ragiona di un'eclissi, e altre volta inventa, *per via d'ipotesi* e afferma certi espedienti postulando i quali *i fenomeni saranno salvati* (Corsivi miei).

Natura ipotetica ed induttiva delle leggi fisiche secondo Aristotele

Il giusto riferimento di Drake ad Aristotele consiste nel fatto che anche per lo Stagirita le premesse delle dimostrazioni nella fisica, riguardando fatti contingenti, erano d'indole ipotetica e non categorica, ovvero non sempre vere, come quelle della metafisica. Anzi, su questa base si innestava la famosa differenza fra *assiomi* e *postulati* delle diverse scienze. La differenza cioè fra i principi della filosofia prima, i soli autoevidenti e dunque propriamente «assiomi» (letteralmente, degni di essere creduti con adesione assoluta), e i principi delle diverse scienze naturali, tutti in un modo o nell'altro di origine induttiva, ovvero «postulati» di carattere *ipotetico* (non necessariamente e sempre *veri*, dunque condizioni sufficienti non necessarie), dato il carattere *contingente* (non necessariamente e sempre *esistenti*) degli enti/fenomeni fisici cui si riferivano. Così, nel caso delle scienze fisiche, compito dell'analisi empirica era controllare induttivamente dove e in quali contesti le premesse delle dimostrazioni matematiche nelle scienze fisiche risultassero vere e dove false in base alle diverse nature e relazioni causali dei corpi oggetti di studio fisico (Cfr. Aristotele, *Phys.*, II, 199b,34ss.)[3].

Il problema nacque dal fatto che, però, tanto i filosofi aristotelici del II sec. a.C., che lottavano con Ipparco e i suoi seguaci astronomi, quanto quelli moderni del XVI secolo che lottavano con Copernico e i suoi seguaci, interpretarono le giuste precisazioni, rispettivamente di Gemino e Bellarmino, in maniera del tutto falsa. La chiave di questa falsa interpretazione è legata proprio alla frase di Gemino — peraltro anch'essa di origine aristotelica — che con quelle ipotesi d'indole matematica si trattava di «salvare i fenomeni». Alcuni filosofi aristotelici tanto antichi che moderni per questo si sentirono autorizzati a considerare le teorie astronomiche come *pure finzioni matematiche*, prive di qualsiasi realtà fisica. Viceversa spettava ai cosmologi e dunque ai metafisici conoscere le vere cause dei moti celesti e le loro leggi. La conclusione, ben sintetizzata da Drake fu che

> Per quasi due millenni i sistemi degli astronomi furono considerati dai filosofi come finzioni matematiche, non come descrizioni di moti reali del cielo. Questi avevano luogo veramente e causalmente come aveva detto Aristotele, uniformemente in cerchi intorno ad un unico centro fisso dell'intero universo (Drake 1990, 183).

---

[3] Sul collegamento teoretico fra natura ipotetica dei principi delle scienze fisiche e dottrina ontologica delle «quattro cause» nel pensiero aristotelico in contrapposizione al determinismo apodittico di tipo geometrico del meccanicismo democriteo (e moderno), cfr. *infra* § **6.3.2**, p. 431.

Ribellione di Newton all'interpretazione ideologica del carattere ipotetico delle leggi fisiche

Si comprende bene perciò perché Newton, al di là della Manica, con la famosa affermazione *hypotheses non fingo*, si rifiutasse più tardi di accettare quello che ai suoi occhi era il «compromesso» di Gemino–Bellarmino cui Galilei con la sua ritrattazione, in seguito al processo del 1633, sostanzialmente si piegò. Ma soprattutto si comprende bene come Galilei fosse di nuovo nella ragione quando nel *Dialogo* si appellava proprio ad Aristotele per difendere l'origine induttiva e non deduttiva dai principi (assiomi) della metafisica, dei principi ipotetici delle scienze fisiche, così che questi, lì dove applicabili, risultassero vere descrizioni (*cinematica**) e/o spiegazioni (*dinamica**), mediante applicazione di leggi matematiche, dei moti reali dei corpi celesti. Ecco infatti un passo tolto dal primo giorno del *Dialogo* dove Salviati, portavoce di Galilei, si difende con argomenti indubbiamente e fondatamente aristotelici dalle accuse di Simplicio, portavoce di quegli (pseudo–)aristotelici che perseguitavano Galilei.

> SIMPLICIO. Aristotele fece il principal suo fondamento sul discorso *a priori*, mostrando la necessità dell'inalterabilità del cielo per i suoi principi naturali, manifesti e chiari; e la medesima stabilì doppo *a posteriori*, per il senso e per le tradizioni degli antichi.
>
> SALVIATI. Cotesto, che voi dite, è il metodo col quale egli ha scritta la sua dottrina, ma non credo già che e' sia quello col quale egli la investigò, perché io tengo fermo ch'e' procurasse prima, per via de' sensi, dell'esperienze e dell'osservazioni, di assicurarsi quanto fusse possibile della conclusione e che doppo andasse ricercando i mezzi da poterla dimostrare, perché così si fa per lo più nelle scienze dimostrative (...). La certezza della conclusione aiuta non poco al ritrovamento della dimostrazione[4].

Infondatezza dell'attribuzione ad Aristotele della derivabilità delle leggi fisiche dalla metafisica

Commenta giustamente Drake che «anche Aristotele scrisse la sua metafisica dopo la sua fisica, com'è dimostrato dal nome che le fu dato». In essa egli esaminò i principi che aveva usato nelle ricerche da lui definite «scientifiche» che riguardavano, sia gli oggetti logici e le loro leggi, sia enti ed eventi naturali con le loro cause. La metafisica aristotelica è dunque molto più vicina di quello che potrebbe sembrare, dopo millenni di strumentalizzazioni di essa da parte di integralisti di molte razze ed estrazioni culturali e religiose, a quella che oggi definiamo una *metateoria* o una *teoria dei fondamenti* delle scienze logiche e fisiche. Afferma infatti testualmente Aristotele proprio al principio della sua *Metafisica:*

> Poiché in ogni campo di ricerca di cui esistono principi o cause o elementi, il sapere e la scienza derivano dalla conoscenza di questi ultimi (...), è evidente che anche nella scienza della natura si deve cercare di determinare ciò che riguarda i principi. (...) Perciò è necessario procedere in questo modo: da ciò che è meno chiaro per natura (l'essere del-

[4] Citato in (Drake 1990, 207).

> le diverse specie di enti fisici, oggetto delle diverse scienze naturali, *N.d.R.*) a ciò che è più chiaro e conoscibile per natura (l'essere in quanto essere, della metafisica, *N.d.R.*) (*Metaph.*, I, 1, 184a,10-15).

Ma, continua Drake,

> durante il Medioevo le cose vennero invertite; i filosofi medievali considerarono i principi così assolutamente stabiliti nella *Metafisica* di Aristotele, che era un'assurdità ammettere in fisica qualcosa che non era direttamente deducibile da essi (Drake 1990, 206).

Difesa di Tommaso del carattere ipotetico ed induttivo delle leggi fisiche, contro la loro derivabilità dalla metafisica

Non tutto il Medioevo cristiano però era su questa lunghezza d'onda, ma sempre e solo quelle componenti più retrive e integraliste della Chiesa che facevano un uso ideologico della filosofia della natura scolastica, neo–aristotelica. Per rendersi conto di quanto Galilei fosse nel vero nel rivendicare che il suo metodo ricalcava se non la lettera, certamente lo spirito del naturalismo aristotelico, basta leggere questo brano dove Tommaso commenta il passo prima citato della *Fisica* di Aristotele (*Phys.*, II, 199b,34ss.), in cui si rivendicava il carattere ipotetico delle dimostrazioni della fisica. Nel commento di Tommaso si esplicita il senso epistemologico corretto in cui, a suo giudizio, intendere la ricerca delle premesse adeguate. Un senso molto più forte di quello euristico rivendicato da Salviati–Galilei nella citazione di cui sopra. Infatti, della procedura euristica del fondare a posteriori le premesse a partire dai teoremi che s'intendono dimostrare, l'aristotelismo — e qui è, se vogliamo, il senso profondo della differenza fra l'approccio geometrico alla scienza fisica che fonda la necessità logica esclusivamente sulle premesse o sulle condizioni iniziali (meccanicismo) e l'approccio aristotelico — ne fornisce una giustificazione ontologica attraverso la nozione di causalità formale–finale, come approfondiremo meglio più oltre, al capitolo 6 di questo volume (Cfr. § 6.3.2.2, spec. p.451ss.).

> Nelle scienze dimostrative il necessario si trova costituito *a priori*, come quando diciamo che *se* la definizione di angolo retto è tale, *allora* è necessario che il triangolo sia tale, ovvero che abbia tre angoli uguali a due retti. Da ciò, infatti, che viene prima (*ex illo ergo priori*) e che viene assunto come principio, deriva necessariamente la conclusione (= se la premessa è vera, è vera anche la conclusione: *modus ponendo ponens*, del ragionamento ipotetico, *N.d.R.*).
>
> Ma da ciò non consegue l'inverso, ovvero, che se la conclusione è (vera) allora lo è anche il principio (= fallacia del conseguente, *N.d.R.*). Poiché talvolta da premesse false può esser inferita una conclusione vera (= l'*implicazione materiale* della logica dei ragionamenti ipotetici, nel suo aspetto più «scandaloso», *N.d.R.*). Pur tuttavia resta il fatto che se la conclusione è falsa lo è necessariamente anche la premessa, poiché il falso non può essere inferito che dal falso (= *modus tollendo tollens*, *N.d.R.*).

In quelle cose però che avvengono a causa di qualcosa (scienze fisiche, naturali e tecniche, *N.d.R.*), sia secondo la tecnica o secondo la natura, *quell'inverso di cui sopra ne consegue*: poiché se lo stato finale è o sarà è necessario che ciò che è prima dello stato finale o sia o sia stato. Se infatti ciò che viene prima dello stato finale non è, neanche lo stato finale è: e questo è come nelle dimostrative, se non c'è la conclusione non vi sarà il principio.

In altre parole, è evidente che in ciò che avviene a causa di qualcosa, *lo stato finale ha lo stesso ordine che nelle procedure dimostrative tiene il principio*. E questo poiché in effetti anche il fine è un principio: non dell'azione, però, ma del ragionamento. *Dal fine infatti cominciamo a ragionare delle cose che sono in relazione al fine* (= procedura di costituzione induttiva della legge, come premessa della conseguente procedura dimostrativa) e nelle procedure dimostrative non ci si interessa dell'azione, ma del ragionamento, poiché nelle procedure dimostrative non vi sono azioni, ma solo ragionamenti. Quindi è conveniente che il fine nelle cose che accadono in relazione ad uno stato finale tenga il luogo del principio nelle conseguenti procedure dimostrative. Perciò la similitudine (fra processi naturali e procedure dimostrative) è da ambedue i lati, sebbene con un'inversione della relazione fra i due che deriva dal fatto che il fine è ultimo nell'azione, ciò che invece non è nella dimostrazione (*In Phys.*, II,xv,273).

Come si vede e commenteremo in seguito, discutendo sulla *consistenza** logica della dottrina aristotelica delle quattro cause (Cfr. § 6.3.2.3, pp.452ss.), la «causa finale» ha un valore *epistemico*, di fondamento non aprioristico della necessità logica, nient'affatto *ontico* — come se lo stato finale di un processo fosse capace di influenzare le sue condizioni iniziali —, come assurdamente sostiene il neo-platonismo e come nel tardo Medio Evo e nel Rinascimento venne interpretato l'autentico pensiero di Aristotele e della scolastica più classica e «illuminata». Allo stesso tempo, il testo di Tommaso ci fa intravedere come sia vigente, nella sua interpretazione della dottrina aristotelica, una nozione di «causa» ed una di «esistenza» del tutto differenti, sia da quelle aristoteliche, sia dalle loro riletture moderne, innanzitutto quelle leibniziane (Cfr. § 6.3.2.2, pp.446).

Ma il pensiero tardo-medievale fu scarsamente influenzato da Tommaso

D'altra parte, E. Gilson ha reso ormai di pubblico dominio quanto la scolastica del tardo Medioevo, malgrado ciò che si pensava, fosse stata assai poco influenzata da Tommaso. In particolare, quanto sia stata assai poco influenzata dall'attenta ed intelligente lettura delle opere di fisica e di logica di Aristotele fatta dall'Aquinate. Praticamente della lezione tommasiana il tomismo medievale e gran parte di quello moderno ha acquisito solo la parte apologetica, più direttamente legata a questioni teologiche che, avulse, dal loro contesto originario logico ed epistemologico, hanno reso giustamente inviso Tommaso a gran parte del pensiero laico e scientifico. Viceversa, l'Aquinate era talmente lontano dalla visio-

ne deduttivista della fisica difesa dagli aristotelici che lottarono con Galilei che, non solo arrivò a definire la metafisica una *trans–physicam* (*In de Trin.,* II, v, 1c), ma a sostenere, praticamente in tutti i passi in cui Tommaso parla del suo ideale di «ordinamento degli studi», che la metafisica va studiata, per essere davvero compresa, solo dopo un lungo apprendistato nelle scienze fisiche e matematiche. Un suggerimento che ben pochi dei seguaci dell'Aquinate di ogni epoca hanno messo in pratica!

Utilità di un riesame post-moderno della filosofia della natura aristotelica aldilà delle ideologie contrapposte

Sia ben chiaro: con questo non si vuole affatto negare le profonde differenze teoretiche fra l'approccio moderno alle scienze fisico–matematiche e quello aristotelico–tomista: tutt'altro. Anzi, è proprio questa profonda differenza che oggi torna utile ad una fisica e ad una matematica post-moderne che, dopo Gödel in logica e dopo le rivoluzioni nella fisica del '900, in particolare quelle più recenti legate alla meccanica quantistica e alla teoria dei sistemi dinamici complessi, possono trarre giovamento dalle nozioni aristoteliche per uscire da diverse *impasse* fondazionali. Costituirà la conclusione di questo nostro volume l'evidenziazione che un'adeguata rilettura non apologetica ma semplicemente logico–epistemologica del modello «complesso» di causalità aristotelico–tomista (dottrina delle quattro cause), può dare un grande aiuto a quella riconsiderazione del principio di causa nella scienza fisico–matematica contemporanea, stante la crisi che la fisica dei sistemi complessi, stabili fuori dall'equilibrio, ha prodotto nel modello humiano–kantiano e quindi hempeliano di causalità. A parte però queste riflessioni sulle quali la discussione è aperta, una cosa comunque resta certa. L'atteggiamento di chi condannava Galilei in nome di Aristotele e della scolastica tomista, non solo andava contro la verità logica ed epistemologica, ma anche contro lo spirito e addirittura la lettera dei testi aristotelici e tomisti su questo punto delicato.

### 0.2.6.2 Assolutizzazione della scienza

Contro la posizione ideologica degli Scolastici, rivendicazione del carattere apodittico della scienza fisico–matematica

*Il secondo errore che ha portato ad una strumentalizzazione ideologica della scienza* consegue immediatamente al primo. L'esito dell'errata interpretazione, ideologica, del valore ipotetico delle teorie fisico–matematiche che faceva delle leggi matematiche in fisica delle pure finzioni della mente atte esclusivamente a salvare i fenomeni, costringeva lo scienziato naturalista che non poteva accettare che le leggi del moto non descrivessero enti o eventi reali, nella falsa alternativa fra *essenzialismo* e *fenomenismo,* fra *platonismo* e quello che in seguito sarà il *kantismo*:

Due versioni: 1. Essenzialismo neo-platonico

- *Essenzialismo.* Se si accetta l'idea che solo la conoscenza delle nature o essenze possa essere vera, adeguata al reale perché categorica, apodittica e non ipotetica, allora al fisico–matematico, per sfuggire

all'interpretazione dell'ipotesi matematica come finzione per salvare i fenomeni non resterà altra possibilità che accettare di essere platonico e anti-aristotelico.

L'interpretazione di Koyré

Ovvero, non gli resterà altra scelta che quella di affermare che la scienza fisico–matematica, lungi dal limitarsi ai soli fenomeni, definendo la legge matematica che soggiace al loro succedersi ordinato, è capace incommensurabilmente meglio della filosofia (metafisica) naturale di attingere all'essenza, alla struttura più intima e profonda dell'ente fisico. Essa allora, evidentemente, è di tipo matematico come la metafisica pre–aristotelica, pitagorica e platonica, affermavano. È questa la lettura che Koyré dà della rivoluzione scientifica moderna e dello stesso pensiero galileiano (a parte l'incidente della ritrattazione sotto il ricatto dell'Inquisizione), come vittoria (o rivincita) del platonismo (e del pitagorismo) dell'antica fisico–matematica greca sull'aristotelismo medievale anti-matematico (Cfr. *infra*, § 1.1, spec. p. 59).

> Se tu reclami per la matematica uno stato superiore, se per lo più le attribuisci un valore reale e una posizione dominante nella fisica, sei platonico. Se invece vedi nella matematica una scienza astratta che ha perciò un valore minore di quelle – fisica e metafisica – che trattano dell'ente reale, se in particolare affermi che la fisica non ha bisogno di altra base che l'esperienza e dev'essere costruita direttamente sulla percezione, che la matematica deve accontentarsi di una parte secondaria e sussidiaria sei un aristotelico. In questo dibattito non si pone in discussione la certezza delle dimostrazioni geometriche, ma l'Essere. E neppure l'uso della matematica nella scienza fisica – nemmeno gli aristotelici avrebbero mai negato il diritto di misurare ciò che è misurabile e di contare ciò che è numerabile – bensì la struttura della scienza e quindi la struttura dell'essere. (…) È evidente che per i discepoli di Galileo, come per i suoi contemporanei e predecessori, matematica significa platonismo. (…) Il *Dialogo* e i *Discorsi* ci narrano così la storia della scoperta o meglio della riscoperta del linguaggio parlato dalla natura. Ci spiegano la maniera di interrogarla, cioè contengono la teoria di quella ricerca sperimentale in cui la formulazione dei postulati e la *deduzione** delle loro conseguenze precede e guida l'osservazione. Questa poi, almeno per Galileo è una prova «di fatto». La nuova scienza è per lui una prova sperimentale di platonismo (Koyré 1980, 160.163.167).

È chiaro che, in questa luce, metafisica e scienza corrono il rischio di non apparire due discipline complementari, ma antitetiche: la fisica moderna sarebbe una vera e propria nuova «filosofia della natura», antitetica a quella medievale. È questa una delle radici, quella platonica, essenzialista, della deviazione scientista moderna, come anche Popper nel suo magistero ha infinite volte denunciato, anche se in modi che spesso non

rendono giustizia al filosofo greco. Un conto è, infatti, Platone, un conto è il platonismo, come un conto è Tommaso, un conto è il tomismo, un conto è Aristotele un conto è l'aristotelismo, etc., etc. Molto difficilmente una caposcuola si riconosce nella scuola di pensiero che a lui fa riferimento. Essa, di solito, della produzione del maestro coglie gli aspetti non più profondi ed essenziali, ma quelli più legati alle contingenze del momento e perciò spesso, come abbiamo visto, si corre il rischio dell'ideologizzazione, se non si è consapevoli di questa limitatezza.

2. Fenomenismo newtoniano-kantiano

- *Fenomenismo.* L'altra strada per sfuggire alla falsa interpretazione razionalista dell'ipoteticità delle teorie fisico–matematiche come pure finzioni per salvare i fenomeni, è quella di accettare sì il fenomenismo della soluzione di Gemino e di Aristotele, ma di rifiutarne l'ipoteticismo. L'apoditticità delle dimostrazioni matematiche della scienza moderna non si baserebbe perciò sulla presunta capacità della mente d'intuire l'essenza matematica della realtà fisica al di là dei fenomeni, ma sul principio moderno dell'*evidenza*.

Evidenza empirica per le misurazioni sperimentali, evidenza razionale per le leggi matematiche e, sinteticamente fra le due — come insegnerà Kant — per le stesse tre leggi fondamentali della dinamica. Leggi interpretate come condizioni necessarie e sufficienti per l'applicabilità del calcolo infinitesimale ai fenomeni meccanici, secondo la geniale intuizione newtoniana (e leibniziana), che risolveva il millenario problema della quadratura delle curve di qualsiasi forma, problema davanti al quale si era arrestata l'intelligenza di Archimede e tutta la fisica–matematica greca. È questa dell'integrazione basata sull'evidenza, del carattere apodittico della dimostrazione matematica col carattere empirico della sperimentazione, il senso profondo dell'*hypotheses non fingo* di newtoniana memoria (Cfr., *infra*, § 2.1, spec. pp.100ss.).

> I fenomeni della natura c'insegnano che siffatti principi (= le tre leggi della dinamica) esistono realmente, anche se la loro causa non è stata ancora investigata. Le *leggi* di cui parliamo sono dunque *evidenti* e soltanto le loro *cause* possono dirsi *oscure.* Gli aristotelici e gli scolastici invece hanno considerato come qualità oscure non già delle proprietà in qualche modo note, ma piuttosto altre che pensavano fossero nascoste nei corpi e costituissero la ragione sconosciuta degli aspetti visibili. Ma a questa categoria tanto la gravitazione quanto la forza elettrica e magnetica apparterrebbero soltanto se noi presupponessimo che esse derivano dalla natura intima delle cose a noi sconosciuta, cioè da un sostrato impensabile ed insondabile. Siffatte «qualità» sono indubbiamente un ostacolo per il progresso scientifico e sono quindi rifiutate a buon diritto dall' *indagine moderna. La credenza in essenze specifiche delle cose dotate di specifiche forze nascoste* e quindi adatte a produrre determinati effetti sensibili, è del tutto

> ti effetti sensibili, è del tutto vuota e priva di significato. Derivare invece dai fenomeni due o *tre principi generali del movimento*, e spiegare come poi da essi, quali presupposti chiari ed evidenti, debbano seguire tutte le proprietà e le manifestazioni di *tutte le cose materiali*, sarebbe già un importante progresso della conoscenza scientifica, anche se le *cause* di tali principi rimanessero a noi completamente sconosciute (Newton 1704, 326. Corsivi miei).

Come espliciterà Kant, l'epistemologo di Newton, è in questa sostituzione del criterio trascendentale, fondativo, della verità la radice della rivoluzione moderna. Si può essere fenomenici, dando pieno valore al carattere matematico e sperimentale della «nuova scienza» galileiana, senza essere ipotetici. Come intuirà Descartes e svilupperà Kant, è il principio dell'autocoscienza (l'evidenza è essenzialmente uno stato di coscienza), il fondamento trascendentale dell'apoditticità e della verità nel pensiero moderno, invece dell'essere e dell'essenza del pensiero classico.

Indole antimetafisica del fenomenismo kantiano

Siamo così posti di fronte all'altra radice dello scientismo antimetafisico moderno, quella del *fenomenismo* newtoniano-kantiano. In esso la polemica contro il valore teoretico della metafisica non viene affidata alla scelta fra un essenzialismo di marca aristotelica ed uno di tipo platonico. Qui ciò che si nega è la capacità di qualsiasi forma di conoscenza razionale, scientifica, di fantomatiche essenze o nature dei corpi poste al di là delle evidenze, di ciò che è matematicamente e sperimentalmente accertabile. Una certezza basata non più sulla ricerca di «cause» che connettono enti, ma di «leggi» che connettono fenomeni, rappresentazioni di oggetti, rappresentazioni quantitative ottenute mediante rigorose misurazioni sperimentali. In tal modo «scientifico» diviene sinonimo di «matematico» per un verso, e di «sperimentale» per l'altro, così che la metafisica naturale viene cacciata fuori dall'enciclopedia moderna delle scienze. Le essenze, ridotte a puri oggetti «pensabili», noumenici, a pure «idee» della ragion pura, vengono da Kant in poi confinate ad essere — sempre secondo il metodo dell'evidenza — postulati autoevidenti, della ragione nel suo uso «pratico», postulati per fondare un'etica o una «metafisica critica», nell'accezione kantiana del termine. In questo senso, il fenomenismo, diviene l'altra radice, invero molto più rigogliosa della prima, dell'ideologizzazione scientista, antimetafisica ed insieme antirealista della scienza moderna.

### 0.2.7 Razionalità post-moderna

#### 0.2.7.1 Involuzione irrazionalista

Critica del principio di evidenza

Nel resto del pensiero moderno, se l'indirizzo fenomenista ha contribuito non poco a scalzare quello essenzialista, l'evoluzione della matematica

e della logica di questi ultimi due secoli si è preoccupata, a sua volta, di porre in crisi le basi stesse del fenomenismo e della sua apoditticità: *il principio di evidenza.*

Assiomatizzazione delle matematiche e fine del mito dell'auto-evidenza: metodo ipotetico–deduttivo come metodo scientifico

L'assiomatizzazione della geometria e dell'aritmetica nel secolo XIX, la conseguente crisi dei fondamenti della matematica e l'assiomatizzazione delle stesse teorie dei fondamenti delle matematiche (teoria degli insiemi, delle classi, delle relazioni) per evitare le antinomie, decretarono la fine del sogno moderno dell'apoditticità basata sull'evidenza cartesiana. Decretarono cioè il riconoscimento definitivo del *carattere ipotetico* della conoscenza scientifica, a cominciare dalla sua base logico–matematica (Cfr. *infra* § 1.5, pp.68ss.). Il quadro fu completato nel 1931 dalla scoperta di Gödel del carattere necessariamente *incompleto* e *non–autoreferenziale** di tutti i sistemi formali, decretando in tal modo ciò che nel libro ho definito «la morte scientifica dello scientismo» (Cfr. *infra* § 3.1, pp. 183ss.). Il sogno ideologico di una scienza *unica, immutabile, completa* perché capace di dimostrare la verità o la falsità di ogni teorema rigorosamente formulabile al proprio interno, e, soprattutto, *autoconsistente*, capace di dimostrare la propria consistenza e verità in maniera del tutto autonoma da altre forme di linguaggio e di sapere, era finito per sempre.

Impossibilità di dimostrazioni assolute di verità e coerenza: rischio irrazionalista

Se tutto questo depone a favore del rigore del metodo scientifico che, a differenza di altre forme di conoscenza e di linguaggio, ha saputo definire al suo interno i propri limiti, debellando l'infezione ideologica che rischiava di snaturarne l'efficacia, per la legge del pendolo che spesso opera nella storia, si rischia oggi di cadere nell'eccesso opposto. Il fatto che non possano esistere dimostrazioni assolute di verità e di coerenza, unito alla consapevolezza dell'ipoteticità di ogni linguaggio scientifico, ha prodotto nell'uomo contemporaneo la falsa conseguenza che allora non può esistere alcuna verità o consistenza, per quanto parziale e sempre perfettibile, nelle dimostrazioni di alcuna forma di linguaggio scientifico.

Interpretazione ideologica in senso nihilista dell'epistemologia ipotetico–deduttiva e ritorno alle posizioni antigalileiane

Paradossalmente nell'epistemologia della scienza contemporanea, almeno a livello divulgativo — per un certo amoreggiare della cultura dominante con forme d'irrazionalismo anti–scientifico, di cui il recente esplodere su scala planetaria della violenza cieca del terrorismo fomentato dall'integralismo ottuso, radicale e pseudo–religioso, ha dimostrato tutta l'irresponsabilità —, si è tornati a dar ragione alle posizioni più retrograde dei filosofi naturali aristotelici dell'antichità e del medioevo che lottarono con Ipparco e Galilei. Anche se poi questi stessi epistemologi radical–chic contemporanei sono i primi a stracciarsi le vesti contro l'Inquisizione. Si è tornati, cioè, ad interpretare le ipotesi matematiche delle scienze come pure *finzioni della mente* senza alcun rapporto con la realtà che intendono rappresentare nei diversi modelli che grazie a quelle ipotesi si possono costruire. Con una profonda differenza, però, rispetto

a quei filosofi pre–moderni. Mentre costoro consideravano le ipotesi delle scienze fisico–matematiche come finzioni mentali in contrapposizione alla certezza e alla verità assoluta della conoscenza metafisica, il moderno non ha nulla da opporre a queste supposte "finzioni".

In estrema sintesi e anche a costo di esemplificare oltremodo: lo scientismo ha fatto perdere al moderno la fiducia nella metafisica in nome di quella nella scienza. La rivoluzione logico–epistemologica contemporanea ha fatto perdere al moderno anche quella nella scienza. La deriva irrazionalista e nichilista sembra essere perciò l'unica alternativa ragionevole rimasta.

Francamente dispiace dover citare un brano di un fisico del valore assoluto del Premio Nobel Richard Feynman come esemplificazione di questo atteggiamento. Dispiace perché, per chi conosce bene il pensiero di questo Autore e quindi sa cogliere di questo brano la profonda auto–ironia che esso cela, esso non ne fotografa affatto, né le convinzioni profonde sul tema né la genialità dei risultati della sua ricerca. Ma tant'è: a parte il processo alle intenzioni e il desiderio di captare la benevolenza di un uditorio di non addetti ai lavori per il quale Feynman aveva accettato la sfida impossibile di illustrare in forma divulgativa i concetti–base della teoria elettrodinamica quantista, gli scritti valgono per quello che dicono…

> I fisici hanno imparato a convivere con questo problema: hanno cioè capito che il punto essenziale non è se una teoria piaccia o non piaccia, ma se fornisca previsioni in accordo con gli esperimenti. La ricchezza filosofica, la facilità, la ragionevolezza di una teoria sono cose che non interessano. Dal punto di vista del buon senso l'elettrodi-namica quantista descrive una natura assurda. Tuttavia è in perfetto accordo con i dati sperimentali. Mi auguro quindi che riuscirete ad accettare la natura per quello che è: assurda (Feynman 1989, 25).

Leggi matematiche della natura ridotte a ipotesi assurde, pure finzioni mentali per salvare i fenomeni, le misure sperimentali. Sembrerebbe davvero una grave involuzione dell'epistemologia moderna, un ritorno alle posizioni dei filosofi antigalileiani del XVI–XVII secolo! Ma Feynman stesso, in un altro testo sempre divulgativo, dà un'interpretazione ben diversa, molto più scientificamente costruttiva di questa situazione paradossale della sua disciplina ed in particolare del formalismo degli «integrali di percorso» da lui sviluppato (Cfr., *infra* § 2.7.2, spec. p. 169).

> Mi lascia sempre perplesso il fatto che, secondo le leggi come le comprendiamo oggi, ci vuole una macchina calcolatrice e un infinito numero di operazioni logiche per calcolare quello che accade in una regione dello spazio-tempo per quanto piccole siano. Come può accadere tutto questo in quel piccolissimo spazio? Perché c'è bisogno di una quantità infinita di lo-

gica per calcolare quello che accadrà in un piccolissimo pezzo dello spazio-tempo? (Feynman 1964, 64).

Necessità di una profonda revisione dei fondamenti matematici e logici della scienza moderna

Ecco: il riferimento al bisogno impellente di una vera e propria rivoluzione concettuale, *finitistica* e *costruttiva**, nel campo della logica e della matematica per risolvere gli enormi problemi di calcolo e di calcolo effettivo che oggi affliggono non solo la fisica delle particelle, ma tutti i campi delle scienze applicate, sia naturali che umane — si pensi solo all'economia —, costringendo la tecnologia ad una rincorsa affannata e ultimamente disperata dell'esplosione dei tempi di calcolo, mediante *hardware* sempre più raffinati e costosi che aumentano il divario, il *divide*, fra paesi avanzati e in via di sviluppo...

Il problema non è di *hardware*, ma di *software*, è logico, teoretico. C'è bisogno di una vera e propria rivoluzione logica ed epistemologica nel modo moderno di fare scienza e, innanzitutto di fare matematica. Questo affermava coraggiosamente Feynman ormai quarant'anni fa'. Questa è l'unica, vera sfida intellettuale che ci sta di fronte, capace di dare un'identità culturale straordinariamente affascinante all'epoca che stiamo vivendo e che finora — in mancanza di una risposta positiva a questa sfida — siamo costretti a definire semplicemente «post-moderna». Certi schemi logici e teoretici della classicità e della modernità non funzionano più, abbiamo bisogno di altro, ma dove cercarlo?

### 0.2.7.2 Sistemi logici aperti

Fine del mito scientista e necessità di una nuova fondazione del sapere

Nel suo ultimo libro, *Return to reason* (Toulmin 2001), Stephen Toulmin è preoccupato come e quanto più di noi della deriva irrazionalista che il fallimento del mito scientista ci ha lasciato in eredità a tutta la cultura contemporanea. Nel primo paragrafo dell'Introduzione a questo saggio, egli afferma esplicitamente (Toulmin 2001, 1):

> Gli intellettuali dell'anno 2000 — filosofi o scienziati sociali, critici letterari o economisti — hanno ereditato una serie di problema circa l'idea di Razionalità e le sue relazioni con quelle di necessità e di certezza. Essi però tendono ad ignorare la più pratica e complementare idea di Ragionevolezza, ovvero la possibilità di vivere, come nei tempi pre–moderni, senza necessità o certezze assolute.

La dissoluzione del triplice mito scientista del *Metodo Universale*, del *Linguaggio Perfetto* e del *Sistema Unico della Natura* (Toulmin 2001, 67ss.) hanno lasciato il posto alla consapevolezza epistemologica che:

> nessun formalismo può interpretare se stesso; nessun sistema può validare se stesso; nessuna teoria può esemplificare se stessa; nessuna rappresentazione può rappresentare se stessa; nessun linguaggio può predeterminare i propri significati (Toulmin 2001, 81).

La necessità di superare il formalismo in logica e la nozione di sistema logico "aperto"

Nel nostro lavoro, tuttavia, più che confrontarci con la saggezza pragmatica di Toulmin abbiamo preferito affrontare la medesima problematica dal punto di vista più logico, non solo riferendoci a nostri precedenti lavori (Basti & Perrone 1996; Basti 1997), ma corroborandoli con quanto è stato recentemente affermato in un altro libro di uno dei maggiori logici-matematici italiani viventi, Carlo Cellucci (Cellucci 1998). Quanto Toulmin affermava circa la necessità logica, conseguenza della scoperta dei teoremi di limitazione per i sistemi formali, quelli di Gödel innanzitutto, che la scienza post-moderna sia aperta ad altri linguaggi e soprattutto al confronto continuo con il reale, con contesti individuali di ricerca e di applicazione, può essere più rigorosamente affermato con la necessità per la logica la matematica e più in generale la scienza che segue il metodo galileiano moderno di lavorare con *sistemi logicamente aperti* (Cfr *infra* § 3.1.5, pp.197ss.). Infatti, uno dei più notevoli risultati del libro di Cellucci è la dimostrazione che

> il non–determinismo richiesto dal risultato di Gödel è quello *di poter introdurre ad ogni passo nuovi assiomi in maniera non algoritmica* (Cellucci 1998, 326. Cfr. *infra*, pp. 201ss.).

È chiaro allora perché sistemi logici siffatti non possono essere sistemi formali: nessun sistema formale o sistema assiomatico ammette che possano essere introdotti *nuovi assiomi* in esso. Viceversa, è proprio l'introduzione di «nuovi assiomi» in corso d'opera ciò che caratterizza il concetto di sistema logico «aperto».

### 0.2.7.3 Metodi: analitico *vs.* assiomatico

Riscoperta del metodo analitico dei classici come metodologia per l'invenzione delle ipotesi *vs.* irrazionalismo

È chiaro che, se vogliamo superare i limiti dell'irrazionalismo e rendere di nuovo la logica utile per la ricerca, l'introduzione di nuovi assiomi *non può essere arbitraria,* come per i neo–positivisti e fallibilisti popperiani e post-popperiani (Cfr. *infra* § 4.2.2, pp.241ss.). In altre parole, tesi fondamentale di Cellucci e nostra è che per superare l'attuale impasse della logica e dell'epistemologia post-moderne occorra recuperare il *metodo analitico* delle logiche classiche e pre-moderne[5], quella platonica e aristotelica innanzitutto, come insieme di procedure (quali induzione, abduzione, analogia astrazione…) per costituire nuove ipotesi, nuovi assiomi in relazione ai diversi oggetti o parti dell'oggetto cui si applica una determina-

---

[5] Discutendo del metodo analitico, vedremo che esso non è da prendere nel senso di Pappo (sec. IV d.C.) che sarà poi ripreso da Descartes per divenire l'*analysis infinitorum* di Newton e quindi l'analisi matematica che tutti conosciamo. Questo senso dell'analisi è interno al metodo assiomatico, in quanto consiste nel metodo di dividere un problema complesso in parti più semplici, o se vogliamo, un enunciato complesso agli enunciati semplici che lo compongono. Il metodo analitico cui Cellucci e noi ci riferiamo è quello platonico e aristotelico come metodologia per la scoperta e/o la costituzione di ipotesi.

ta teoria. In altri termini, il mito razionalista in metafisica e quello scientista nelle scienze moderne derivano dalla falsa accentuazione del *metodo assiomatico* come l'unico metodo della logica. Invece,

> l'inferenza non serve soltanto a trovare conseguenze logiche da assiomi dati, *ma serve a trovare le ipotesi più adeguate per risolvere un problema.* Ciò spiega perché, in base ad essa, trovare una nuova dimostrazione produce nuova informazione: trovarla significa trovare nuove ipotesi che non sono contenute già implicitamente nella conclusione e quindi stabiliscono nuove connessioni tra il problema e il mondo esterno (Cellucci 1998, 332. Corsivi miei).

Caratteristiche dei sistemi logici aperti

Le dimostrazioni in siffatti sistemi logici aperti, *analitico–deduttivi*, saranno così caratterizzate da un alto grado di *evolutività* — si procede per aggiustamenti progressivi —, *plasticità* — non si procede da un unico insieme di assiomi fissi, ma le ipotesi vengono trovate via via —, *modularità* — dove ogni modulo svolge un compito particolare per la soluzione di una parte del problema, anche se tale compito può mutare in relazione con le altre parti del sistema logico e l'ambiente in cui la dimostrazione evolve.

### 0.2.7.4 Induzione: costitutiva *vs.* enumerativa

Induzione costitutiva (metodo analitico) *vs.* induzione enumerativa (metodo ipotetico-deduttivo)

Il riferimento di Toulmin a logiche e a stili di vita pre–moderni in cui non esistevano miti scientisti di assolutezza del sapere logico-matematico ha dunque una collocazione ben precisa, grazie all'analisi di Cellucci e a quella che porteremo avanti in questo lavoro. Si tratta di riprendere in mano con occhi e competenze post-moderne quel metodo analitico di ricerca delle ipotesi che fu teorizzato innanzitutto da Platone e in parte ripreso da Aristotele e dalla tradizione scolastica aristotelica pre-moderna, più innamorata della verità e della razionalità che delle proprie convinzioni, quella tommasiana innanzitutto. È di nuovo un gran merito del libro di Cellucci aver evidenziato al lettore italiano che la sillogistica aristotelica, lungi dall'essere una sillogistica puramente deduttiva, basata sul metodo assiomatico, come sia la lettura razionalista classica sia quella moderna hanno ideologicamente fatto credere ad antichi e moderni, era anche induttiva. Includeva al suo interno le procedure analitiche di costituzione di nuove premesse, sia nel *sillogismo* induttivo*, sia, più in generale, nella fondamentale procedura dell'*inventio medii*, della ricerca del termine medio, essenziale per qualsiasi procedura sillogistica deduttiva (Cfr. *infra* § 4.4.1, pp. 265ss.) nel cosiddetto *sillogismo* dimostrativo.* In altre parole, un sillogismo dimostrativo, sia esso categorico o ipotetico, è realmente «scientifico» nella misura in cui si basa su premesse adeguate (vere) all'oggetto. Ma la costituzione di queste premesse richiede procedure analitiche, *non dimostrative*, di costituzione di premesse cate-

goriche e/o ipotetiche, mediante il sillogismo induttivo, o più in generale mediante la ricerca di un termine medio adeguato.

Sillogismo induttivo *vs.* sillogismo dimostrativo

Se, contro un atteggiamento dominante nella scolastica moderna, si evidenzia la centralità del *sillogismo induttivo* e, più in generale, del *metodo analitico* dell'*inventio medii* nella procedura sillogistica, è ovvio che il sillogismo è molto di più che un semplice *metodo di prova* di proposizioni costituite vere per altra via. Scopo del metodo sillogistico nella sua interezza è infatti per Aristotele definire un metodo

> Che ci dica come troveremo sempre sillogismi per risolvere qualsiasi problema e per quale via potremo assumere le premesse appropriate per ciascun problema (Aristotele *An. Pr.,* I,27,43a 20-22)

Ciò colloca il sillogismo anche entro *il metodo d'invenzione* piuttosto che solo in quello di prova, dandogli un ruolo ben preciso nell'epistemologia *ipotetico–deduttiva* della scienza moderna, come insieme di regole per la costituzione di proposizioni vere, mediante la ridefinizione di assiomi ipotetici generici (p.es., leggi matematiche) su contesti singolari, al fine di costruire *modelli veri* di sistemi formali per contesti ben definiti di applicazione. Ecco come Aristotele stesso definiva i rapporti fra i due tipi di sillogismo deduttivo e induttivo

> Da un lato il sillogismo che si costituisce attraverso il medio (il sillogismo deduttivo, *N.d.R.*) viene prima per natura ed è più evidente. D'altro lato, il sillogismo che si sviluppa per induzione è per noi il più ricco di conoscenza (*Post. An.,* II, 23, 68b, 35s.).

Così nella seconda parte di questo volume ci dedicheremo ad un approfondimento del metodo analitico ed in particolare della procedura d'*induzione costitutiva,* come procedura di ricerca di termini medi e più in generale come procedura per la costituzione di premesse per sillogismi dimostrativi di tipo categorico e/o ipotetico. In questa nostra ricerca correggeremo in parte la stessa interpretazione di Cellucci sull'uso del metodo analitico nella sillogistica aristotelica. Infatti, secondo Cellucci — che in questo è in continuità con un'impostazione abbastanza assodata della problematica innanzitutto nei vari trattati di logica sull'argomento — il metodo analitico *dell'inventio medii* sarebbe in Aristotele asservito a quello assiomatico. Secondo tale interpretazione infatti la procedura di ricerca del medio terminerebbe comunque in proposizioni assiomatiche autoevidenti, così da includere il metodo analitico in quello assiomatico, entro una logica di «sistema chiuso», dunque.

*Inventio medii* sillogistica, metodo analitico e carattere non tautologico delle proposizioni analitiche ottenute con tali procedure induttive

Tale interpretazione, sebbene rispettabile, non approfondisce a sufficienza la questione, come in particolare è stato in grado di fare la logica scolastica medievale. Nei capitoli della seconda parte ci dedicheremo dunque a questo approfondimento di ciò che abbiamo definito induzione costitutiva, esaminandone sia i fondamenti logici (metalogici) che ontologici (metafisici). Infatti, è vero che il termine della procedura risolutiva dell'*inventio medii* è una proposizione analitica, caratterizzata da una convertibilità soggetto–predicato, come le tautologie autoevidenti, tanto care a Leibniz e al formalismo logico-matematico moderno. La differenza però *è che non tutte le proposizioni analitiche sono tautologie* e quindi *proposizioni autoevidenti,* com'è invece nelle procedure risolutive del metodo assiomatico e come Cellucci e gran parte dell'interpretazione moderna, anche di filosofia scolastica, sembrano supporre a proposito dell'*inventio medii* aristotelica. Siffatte proposizioni analitiche non tautologiche sono invece di «universali uno-di-uno» di origine induttiva, addirittura empirica nel caso delle scienze naturali. Ovvero si tratta di *connotazioni di termini singolari,* siano essi singolarità individuali (connotazioni di enti individui, del tipo «Giuseppe Garibaldi è l'eroe dei due mondi») o singolarità specifiche (connotazioni di specie, del tipo «i rettili sono animali a sangue freddo». Cfr. *infra* pp. 272ss.). Ecco alcuni testi di Tommaso d'Aquino, di commento agli *Analitici* di Aristotele, estremamente significativi al riguardo e che approfondiremo in seguito.

Un testo di Tommaso sulla necessità dell'induzione

Innanzitutto, ecco un testo sull'origine induttiva di tutti gli universali che rende la posizione aristotelico–tomista mille miglia lontana da quella dell'evidenza dei moderni. Ricordiamo che solo i primi principi metalogici (p.es., il p.d.n.c.) sono evidenti e dunque propriamente *assiomi* per Aristotele e Tommaso. I principi delle dimostrazioni sillogistiche interne alle altre scienze sono invece tutti di origine induttiva.

> Duplice è il modo per acquistare scienza: uno per *dimostrazione,* l'altro per *induzione,* com'è stato affermato al principio di questo libro. I due modi sono tuttavia diversi, perché la dimostrazione procede dagli universali, l'induzione invece dai particolari. Se pertanto gli universali da cui procede la dimostrazione si potessero conoscere senza l'induzione, ne seguirebbe che l'uomo potrebbe acquistare direttamente scienza di essi dei quali non si può avere sensazione. *Ma è impossibile speculare degli universali senza l'induzione* (Tommaso d'Aq., *In Post. An.,* I, xxx, 252. Cfr. *infra* p.270ss.).

Proposizioni analitiche termine dell'*inventio medii* come "universali uno–di–uno".

Ecco invece un altro testo da dove si evince che grazie alla procedura induttiva dell'*inventio medii* nella sillogistica aristotelica siamo nell'ambito dei «sistemi logici aperti» e non dei sistemi assiomatici. Infatti finché nella premessa minore del sillogismo non viene indotto e/o assunto un appropriato termine medio che sia contenuto entro l'universale della pre-

messa maggiore, la conclusione non è affatto implicita dalla sola premessa maggiore. Il sillogismo è dunque ampliativo della conoscenza, conduce a delle conclusioni che non sono affatto implicite negli assiomi di partenza, come invece sarebbe se le proposizioni analitiche in questione fossero solo tautologie.

> Per inferire una determinata conclusione, occorrono due proposizioni, cioè la premessa *maggiore* e la *minore*, poiché, conosciuta la proposizione maggiore non ancora si ha cognizione della conclusione. La proposizione *maggiore* deve infatti essere conosciuta prima non solo di natura, ma anche temporalmente. In seguito, se nella proposizione *minore* viene *indotto* e/o *assunto* (si noti la differenza fra induzione e assunzione di un particolare specifico entro un universale generico, *N.d.R.*) qualcosa che è contenuto sotto l'universale che è la proposizione maggiore, ma di cui non è evidente che è contenuto sotto questo universale, ancora non si ha la conoscenza della *conclusione* poiché non ancora sarà certa la verità della proposizione minore (in altri termini: dalla proposizione «tutti gli uomini sono mortali» non potrò dedurre che «Socrate è mortale» finché, nella premessa minore, non avrò determinato che «Socrate è uomo». Ma per affermare questo direttamente dalla maggiore, avrei dovuto enumerare *tutta* la classe degli uomini, *N.d.R.*). Se invece nella proposizione *minore* viene assunto un termine di cui è divenuto evidente che sia contenuto sotto l'universale della proposizione *maggiore*, allora immediatamente diviene evidente *la verità* della proposizione *minore* (viene cioè risolto il problema, *N.d.R.*). Infatti ciò che viene posto sotto l'universale ha già la sua conoscibilità per cui si ha subito conoscenza anche della conclusione. (...) Esemplificando a proposito di quelle cose che vengono conosciute prima anche *temporalmente* della conclusione (ovvero le proposizioni maggiori di ciascun sillogismo, *N.d.R.*), Aristotele afferma: poniamo che qualcuno, per conoscenza acquisita di una conclusione da una precedente dimostrazione, conosca anticipatamente la seguente proposizione, e cioè che ogni triangolo ha tre angoli uguali alla somma di due retti. Ora, *inducendo* questa ulteriore assunzione, e cioè che questo oggetto (singolo, *N.d.R.*) che è in un semicerchio è un triangolo, contemporaneamente egli conoscerà la conclusione, *poiché questo oggetto indotto ha da se stesso la sua universalità entro cui essere contenuto cosicché non c'è bisogno di ricercare un ulteriore termine medio* (che fondi l'appartenenza, *N.d.R.*). (...) Esso è infatti il termine di una procedura risolutiva (= procedura *analitica, N.d.R.*), dal momento che le proposizioni mediate si riducono sempre a quelle immediate. Il che si può anche leggere così: l'ultimo *estremo* (ovvero il soggetto della premessa minore di un sillogismo dimostrativo, *N.d.R.*) che viene preso sotto il medio universale (il predicato della premessa minore, *N.d.R.*) non implica che sia conosciuto come essere sotto

quell'universale per un qualche altro medio. *E quali siano quelle cose che implicano la conoscenza immediata del loro universale (Aristotele) lo dice subito dopo: di tal fatta sono solo i predicati singolari* («universali uno–di–uno», o «connotazioni singolari», *N.d.R.*) *che non possono venire attribuiti ad un qualche altro soggetto, poiché fra i singolari e la loro specie non può esserci alcun altro termine frammezzo* (*In Post. An.*, I, ii, 21. Cfr. *Infra* p. 281. Corsivi miei).

Problema: fondazione metafisica e metalogica, non psicologica, dell'induzione costitutiva

Il testo appena citato è però importante per un altro messaggio che esso contiene. In esso infatti è celato il segreto della profonda differenza fra *induzione enumerativa,* procedura di prova tipica della logica delle proposizioni e che non può altro che corroborare probabilisticamente la verità di proposizioni già assiomaticamente date, come Hume e Carnap hanno insegnato a noi moderni (Cfr. *infra* § 4.2.2.3, spec. pp. 250ss.), e *l'induzione costitutiva* di cui qui stiamo parlando e di cui di solito, nella modernità, si è data esclusivamente una giustificazione psicologica — legandola alla teoria dell'astrazione dell'intelletto aristotelico — , dimenticandosi completamente della sua trattazione e fondazione logica. Quando perciò se ne parla nei trattati di logica moderna, se ne parla esclusivamente nei termini di una misteriosa «induzione psicologica» legata all'ancor più misteriosa capacità dell'intelletto umano di penetrare ("Intuire" come *intus-legere*) gli oggetti, al di là dei dati empirici, per cogliere in essi l'universale logico. Qualcosa dunque forse d'interessante per l'antropologia filosofica, non certo per la logica e l'epistemologia scientifiche, a meno di non cadere nello psicologismo in logica.

In questo nostro libro cercheremo invece di colmare la lacuna, approfondendo le differenze fra la trattazione dell'induzione nel metodo analitico della logica aristotelica e tomista come *metodo di costituzione di premesse* categoriche e/o ipotetiche, e la trattazione moderna dell'induzione all'interno del metodo assiomatico, nella sua declinazione ipotetico–deduttiva contemporanea, come *metodo di prova* (corroborazione).

Induzione enumerativa nelle procedure di prova delle ipotesi ha valore solo corroborativo

Anticipando per sommi capi quanto poi il lettore potrà approfondire nel corso della trattazione (Cfr. *infra* § 4.2.2.3, spec. pp. 250ss.), ciò che noi designiamo col nome di *induzione enumerativa* è una procedura che appartiene alla logica delle proposizioni e al metodo ipotetico–deduttivo della scienza contemporanea. Essa è finalizzata a determinare il grado di corroborazione empirica che di una certa premessa può essere dato, in funzione del numero dei controlli sperimentali positivi di una determinata conseguenza empirica, materialmente implicata dalla premessa. Una conseguenza vera infatti può essere validamente tratta anche da una premessa falsa e dunque i controlli empirici potranno solo accrescere il grado di fiducia nella verità della premessa, mai verificarla in senso proprio. L'induzione enumerativa appartiene dunque alla *logica della prova* o

della *giustificazione,* nel caso specifico della giustificazione della *verità,* o più esattamente della *verisimiglianza,* di proposizioni assiomatiche già costituite, non alla *logica della creazione,* della *costituzione logica,* metodica, di nuove proposizioni assiomatiche entro contesti limitati.

Induzione costitutiva come procedura di logica dei predicati e non di logica delle proposizioni (teoria della dimostrazione)

L'*induzione costitutiva* (Cfr. *infra* § 4.4.3, pp.278ss.), invece — termine da noi coniato per distinguerla dalla precedente e che rende il termine greco, ἐπαγωγή o latino *inductio,* rispettivamente dei testi aristotelici e tomisti —, è una procedura di logica dei predicati non delle proposizioni, e più esattamente di logica sillogistica, mediante cui costituire premesse adeguate a specifici contesti di ricerca — quindi *relativamente* e non *assolutamente vere* come gli assiomi o i primi principi della metafisica pura — di successive dimostrazioni sillogistiche. Dimostrazioni finalizzate a connettere in forma necessitante soggetto e predicato nella proposizione che funge da conclusione della dimostrazione, attraverso connessioni fra soggetti e predicati che si suppongono già stabilite nelle premesse (maggiore e minore) della dimostrazione.

*Adaequatio* tomista e sussunzione induttiva del particolare nell'universale adeguando l'universale medesimo

Nella trattazione dell'*inventio medii,* l'induzione appare essenzialmente legata alla procedura per dotare di un contenuto specifico, non implicito, l'universale logico della premessa maggiore (nella forma fondamentale del sillogismo *in Barbara,* l'universale denotato dal predicato della premessa maggiore, p.es., «l'esser-mortale» in «gli uomini sono mortali») *assumendo* entro di esso quanto è contenuto nell'universale logico della premessa minore (il predicato della premessa minore, p.es., «essere uomo» di «i greci sono uomini»), di modo che, nella conclusione tutto questo possa essere veritativamente affermato in forma proposizionale. Possa cioè in forma proposizionale essere affermato che il particolare contenuto dell'universale logico della minore (il soggetto della minore, p.es., «i greci» in «i greci sono uomini») è contenuto anche nell'universale logico della premessa maggiore (il predicato della maggiore «essere mortale», così da concludere, p.es.: «i greci sono mortali»). Con l'induzione costitutiva ci muoviamo dunque nell'ambito, non della logica della giustificazione della verità di proposizioni già assiomaticamente date come premesse di procedure dimostrative, ma nella logica della *costituzione* delle stesse *premesse.* Siamo in pieno metodo analitico, in quanto procedura di scoperta — o meglio di *costituzione,* visto che qui non c'è nessun universale platonicamente già dato da «disvelare» — di ipotesi adeguate (= limitatamente e non assolutamente vere) alla soluzione di specifici problemi.

Immediatezza analitica e universali uno–di–uno

In ultima analisi, dunque, la connessione soggetto–predicato della conclusione è una connessione *mediata* dalla connessione soggetto–predicato della premessa minore. Di qui la necessità che si giunga mediante la procedura dell'*inventio medii* a *connessioni immediate* soggetto–predicato (propo-

sizioni analitiche, caratterizzate sì da convertibilità soggetto–predicato, ma *non tautologiche,* capaci quindi di connotare il loro oggetto in forma di definizioni di essenza o *quidditates,* tutt'altro che complete e dunque immutabili) che giustifichino tutta una catena sillogistica di dimostrazioni e dunque di connessioni mediate. Torneremo fra poco sulla giustificazione ontologica, essenzialmente di tipo causale, di questi diversi gradi di *necessità logica* dell'appartenenza di certe proprietà (predicati) a determinati soggetti. Concentriamoci invece adesso su altri due testi che commenteremo in seguito e che riguardano il *proprium* del procedimento logico che soggiace all'*inventio medii.* Innanzitutto ecco ciò che caratterizza l'immediatezza della reciproca appartenenza soggetto/predicato negli universali «uno–di–uno», termine ultimo del procedimento risolutivo dell'*inventio medii:*

> bisogna sapere che qui universale non viene inteso nel senso di ciò che viene predicato di più soggetti, ma *secondo un qualche adattamento o adeguazione* (*adaptationem vel adaequationem*) *del predicato al soggetto,* rispetto alla quale né il predicato viene detto senza il soggetto, né il soggetto senza il predicato (*In Post.Anal.*, I,xi,91. Cfr. *infra,* p. 284).

Differenza fra sussunzione deduttiva kantiana e assunzione induttiva tommasiana

D'altra parte, questo meccanismo di progressivo e reciproco adattamento di un predicato ai singoli elementi del suo *dominio** è anche alla base dell'altra procedura induttiva caratteristica del metodo sillogistico e ricordata da Tommaso in un testo precedente. La cosiddetta «assunzione» del particolare entro l'universale. Una procedura cui fa riferimento anche Kant nella *Ragion Pura,* nella sua «analitica trascendentale», allorché parla della «sussunzione» del particolare fenomenico entro l'a–priori «vuoto» di contenuto della categoria. La principale differenza fra le due procedure di sussunzione/assunzione, in Kant e in Aristotele–Tommaso, è che mentre Kant, schiavo del metodo assiomatico e del carattere «chiuso» dei sistemi logici formali, è costretto a lasciare immutato l'a–priori e quindi ad inventarsi lo «schematismo temporale» per cercare di connettere a–priori e a–posteriori, senza peraltro risolvere il problema come ben sanno i critici di Kant (Scaravelli 1990), questo non è per Aristotele e Tommaso.

Sistema logico aristotelico–tomista come sistema logico aperto

Tutto ciò ci dà conferma ulteriore che il sistema logico aristotelico–tomista è un sistema logico «aperto»: anzi parlare di sistema logico «aperto» è il modo migliore con cui rendere conto da parte di un moderno della teoria aristotelico–tomista della verità come *adaequatio.* D'altra parte, non consisteva forse «la rivoluzione copernicana» dell'epistemologia kantiana, contro quella scolastica, nel fatto che era la realtà a doversi adeguare all'a–priori della mente? Evidentemente, allora, il nucleo dell'epistemologia precedente alla «rivoluzione» era quello che oggi ren-

diamo con la nozione di sistema logico «aperto». È l'a–priori della mente a doversi adeguare progressivamente all'a–posteriori, al reale conosciuto attraverso il dato empirico. È il senso della dottrina della verità come *adaequatio intellectus ad rem* (adeguarsi dell'intelletto alla cosa). Ecco un testo di Tommaso, sempre di commento agli *Analitici* di Aristotele, in cui appare evidente in che modo funziona logicamente il principio dell'*adaequatio*. In questo testo appare che si tratta di un processo iterativo, basato su un concetto di *ricorsività* che suona assolutamente «eretico» per il moderno. La ricorsività qui non si limita, per esempio, a rendere il valore di una determinata *funzione** iterativa al passo $n$ dipendente dal valore della medesima al passo $n - 1$:

$$x_n = f\left(x_{n-1}\right)$$

Nel nostro caso è lo stesso a–priori che viene iterativamente, modificato in funzione dell'a–posteriori che dev'esservi assunto e viceversa, fino al raggiungimento di una stabilità. In termini di logica delle relazioni, qui sono parti dello stesso «campo» o «spazio» su cui i valori delle variabili, sia del dominio che del codominio, sono passo–passo definiti, a dipendere iterativamente dal singolo valore che deve venirvi definito sopra e viceversa, in funzione, ovviamente, del soddisfacimento di un qualche criterio finalistico di stabilità locale (p.es., la convergenza passo–passo nei computi). Ecco comunque il brano di commento ai *Secondi Analitici* dove questa procedura iterativa di reciproca e progressiva determinazione fra il campo e la serie di valori singoli che devono esservi iterativamente definiti è espresso nei termini della classica logica sillogistica.

> Sembra che qui Aristotele dica che la *connotazione** (*definitio*) della proprietà (p.es., «essere uomo», *N.d.R.*) è il medio nella dimostrazione. Ma bisogna aggiungere che *la connotazione della proprietà nel medio non può essere completata se non mediante la connotazione del soggetto.* È evidente infatti che le premesse che contengono la connotazione del soggetto sono premesse che riguardano proprietà. Perciò la dimostrazione non si risolve nel suo primo fondamento (*prima causa*), se non prendendo come suo medio la connotazione del soggetto. Così pertanto è necessario concludere circa la proprietà che connota il soggetto (p.es., «d'essere Socrate», *N.d.R.*)[6] per il medio della connotazione della proprietà che di esso si vuol predicare (p.es., «essere uomo», *N.d.R.*), e *iterativamente* (*et ulterius*) è necessario concludere circa la connotazione della proprie-

[6] È chiaro che la proprietà di «socraticità» non può essere usata in quanto tale: sarebbe l'*hecceitas* di Scoto, ciò che individua il singolo in quanto tale rispetto a tutti i possibili contesti. Ma non c'è bisogno di questo: si può ottenere lo stesso effetto usando, per ciascun contesto, una delle proprietà che caratterizzano Socrate non in assoluto, ma sufficienti per un determinato ambito, p.es., nel contesto dell'umanità la sua individuale «grecità» per cui «Socrate è greco» è effettivamente la connotazione individuale convertibile «Socrate è il greco-a-modo-diSocrate».

tà predicata relativamente al soggetto (p.es., «essere uomo» relativamente a Socrate, *N.d.R.*) per mezzo della connotazione del soggetto (p.es., «essere Socrate», *N.d.R.*) (*In Post. An.*, II, i, 415. Cfr. *Infra*, p. 285).

## 0.2.8 Ontologia dei sistemi aperti

### 0.2.8.1 Differenza reale fra entità ed esistenza

Fondazione metafisica dell'induzione costitutiva *vs.* nozione formalista di essere come pura appartenenza (essere come copula di Kant)

A questo punto, diviene indispensabile per un moderno, per comprendere il senso di quanto qui si sta affermando, capire la *differente ontologia* che soggiace a questo modo d'impostare il problema logico (Cfr. *infra* § 4.5, pp. 290ss.). Se infatti siamo nell'ontologia moderna che da Kant a Frege a Quine identifica *l'esistere* con l'*appartenere ad una classe*, ovvero riduce «d'essere», kantianamente, alla copula fra soggetto e predicato — affermare «*esiste* un qualche gallese giocherellone» si riduce a «un qualche gallese *è* giocherellone» —, è chiaro che questo principio della reciproca determinazione soggetto/predicato non ha alcun senso. Come si fa senza cadere nell'impredicatività e nel circolo vizioso pretendere di ridefinire il campo del dominio di un predicato su un elemento che dovrà appartenervi se tutto l'essere dell'elemento consiste nell'appartenenza stessa? Insomma, per il logico e il matematico moderno vale: dimmi su quale campo, spazio, insieme, classe, collezione… sei definito e ti dirò non solo *chi* sei — il che è perfettamente plausibile — ma ti dirò *che* sei, *che esisti*. Per la logica dei sistemi aperti in chiave aristotelica e tomista tutto ciò è inconcepibile. L'essere della qualità (o essere dell'essenza, *entità*, il *quod quid est*, «il che cos'è»), designato dal predicato della proposizione, deve essere realmente distinto dall'essere dell'esistenza (o *esistenza*, l'*an est*, «il che esiste»), designato dal soggetto della proposizione rispetto al quale la proprietà dovrà essere predicata.

Il soggetto ha sia una sua *connotazione* (*definitio*), sia un suo *essere* che *non dipende* dalla proprietà, ma il suo *essere proprio* viene pre - intelletto rispetto all'essere della proprietà in esso. Perciò del soggetto non è necessario conoscere solo il *quod quid est* , «il che cos'è» (come della proprietà, *N.d.R.*), ma anche l'*an sit*, «il che esiste». Essenzialmente perché è dalla distinta connotazione del soggetto e della proprietà che dipende la dimostrazione del medio (*In Post. An.*, I, ii, 15).

Adeguazione soggetto-predicato e differenza fra essere dell'esistenza (essere comune) e essere dell'essenza (entità)

Questa ridefinizione mutua soggetto–predicato è alla base di quella distinzione aristotelica, vera e propria «croce» degli esegeti di Aristotele, fra il *quod quid est* (τὸ τι ἔστιν, «il che cos'è» di un ente, il predicato specifico attribuito ad un ente, p.es., «il bianco del cavallo» o «il bianco dello zucchero») e il *quod quid erat esse*, τὸ τι ἦν εἶναι, «il che cos'*era* l'essere» di un ente, il predicato generico prima di essere ridefinito su una qualche specificità dell'ente in questione — e quindi, all'inverso, il predicato generico come termine di un'operazione astrattiva della mente, grazie alla quale si prescinde dalle note specifiche — p.es., ciò per cui possono essere definiti *genericamente e univocamente* «bianchi», «il cavallo», «lo zucchero», «la neve», etc..

Spiegazione causale dell'essere dell'essenza come "terza via" aristotelica fra realismo platonico e nominalismo sofista in logica

Il parlare dell'essere dell'essenza o *entità*, sebbene etimologicamente rimandi all'οὐσία (*ousia*) platonica ha dunque un senso ben diverso in Aristotele e Tommaso rispetto a Platone, grazie al quale si può essere realisti in logica senza essere platonici, senza credere nell'esistenza di «un mondo delle idee» al di là del mondo fisico. Ontologicamente parlando, le nature o essenze aristoteliche degli enti fisici, ultimo fondamento reale degli enti logici che come tali esistono solo nelle operazioni logiche eseguite su e attraverso di essi, non sono «sostanze» immateriali che esistono «in sé e per sé» al–di–là del mondo fisico. Sono solo il risultato, l'effetto, *l'atto* — nel senso di termini intrinseci all'ente di un'azione causale (ἐντελέχειαι, *entelechie*) — del complesso di cause necessarie a «far esistere» e a «far esistere così», con quelle proprietà, con quella natura, un dato ente, fisico, in una determinata localizzazione spazio–temporale dell'universo. Qualcosa di molto simile insomma a ciò che intendiamo noi oggi in fisica dei sistemi biologici col concetto di «specie» biologica, in quanto intrinsecamente legato a quello di «nicchia ecologica» necessaria all'esistenza di quella specie (Cfr. *infra* § 5.4.4, pp. 343ss.).

Essere dell'esistenza e essere dell'essenza e distinzione aristotelica fra sostanza prima e seconda

Le essenze o nature aristoteliche sono insomma dei «per sé», degli effetti di relazioni reali (cause) necessitanti su un sostrato che ne viene in tal modo determinato. Non sono invece degli «in sé» delle sostanze, degli enti sussistenti di tipo ideale. È questo il senso della famosa distinzione aristotelica,rispettivamente, fra *sostanza seconda* (essenza che non esiste in sé, ma solo negli individui che appartengono a quella specie di enti) e *sostanza prima* (individuo sussistente, sostrato o soggetto metafisico (*subiectum*) delle qualità, esistente in sé e per sé. Cfr. *infra* § 5.4.1, pp. 323s.). «Sostanza prima» che viene connotata da Aristotele con la famosa espressione τόδε τι, una sorta di definizione ostensiva dal significato approssimativo «questo qualcosa», che costituisce un'altra «croce» esegetica per interpreti e traduttori di Aristotele.

L'ambiguità della filosofia aristotelica nella fondazione metafisica della sostanza prima, e la deviazione materialista della teoria

Problemi esegetici a parte, il vero problema teoretico della metafisica aristotelica, come forse al lettore teoreticamente sperimentato già non è sfuggito nella sintetica presentazione dei capisaldi del realismo aristotelico fatta al paragrafo precedente, riguarda precisamente la consistenza metafisica della nozione del τόδε τι, della sostanza prima. Di che sostrato si tratta? Dove si fonda la sua consistenza metafisica? Sono domande, soprattutto la seconda, a cui non si trova risposta soddisfacente nella metafisica aristotelica, tanto da dar luogo, nei filosofi naturali antichi e moderni che hanno cercato di rifarsi al magistero aristotelico, ad un'interpretazione monista–materialista di questa metafisica.

La mancanza di chiarezza su questo punto ha portato cioè gran parte dei seguaci di Aristotele ad identificare la sostanzialità prima dell'ente fisico, con il comune sostrato materiale di tutti gli enti fisici, fino a fare di questi enti, in Spinoza, semplici *modi* dell'unica sostanza (Cfr., *infra,* pp. 211ss.). Una dottrina questa in palese contraddizione col resto della metafisica naturalista aristotelica dove: a) la materia prima era tutt'altro che capace di sussistere senza la forma (Cfr. *infra,* § 5.4.3, pp. 339ss.); b) la sostanza prima era tutt'altro che unica nel mondo fisico, ma diversificata secondo le specie e gli individui. Ogni individuo capace di sussistere più o meno a lungo nel tempo e di appartenente ad una determinata specie di enti sarebbe per Aristotele «sostanza prima». P.es., sono sostanze prime il singolo gatto, ma anche la singola molecola di un composto stabile, il singolo atomo di un dato elemento chimico…

L'alternativa di Tommaso: fornire una fondazione causale a tutto l'essere dell'ente, essenza e esistenza

L'alternativa proposta da Tommaso al monismo materialista, a nostro giudizio molto più coerente di questo col resto della metafisica aristotelica, è quella di *fornire una giustificazione causale* non solo all'essere dell'essenza di un ente (entità), come già aveva fatto Aristotele rispetto a Platone, ma anche *all'essere dell'esistenza* di questo. Insomma, non solo la forma è atto, risultato di una causalità agente, rispetto alla potenzialità della materia nella costituzione dell'essenza dell'ente fisico, ma anche l'essere dell'ente è atto, il risultato di una forma particolare di «causalità» (= partecipazione dello *esse*, in quanto distinta dalla partecipazione della forma platonica), rispetto alla potenzialità dell'essere dell'essenza. Rispetto all'atto dell'essere, l'essenza è potenza in quanto risultato dell'azione di cause (enti) che a loro volta per esistere e quindi per causare hanno bisogno di partecipare a loro volta dell'essere, ultimamente da un ente non–causato a sua volta. È chiaro che questa partecipazione è logicamente «perpendicolare» alla catena degli enti causati–causanti (la «causa prima» non è l'ultimo causante all'indietro della serie: nozione assolutamente inconsistente), in quanto è ciò che da consistenza metafisica all'intera catena causale e a ciascun suo anello (ente contingente). È dun-

que una causalità *indipendente dal tempo e dal divenire*, perché logicamente ed ontologicamente li contiene e li fonda.

Nozione di essere come atto e differenza reale essere-essenza

Sebbene ne stiamo dando un'illustrazione parziale, limitata alla sola costituzione metafisica degli enti fisici, si trova qui il cuore della metafisica tommasiana dell'*essere come atto* (*esse ut actus*). Una dottrina basata sulla dottrina della *differenza reale* fra l'*essere dell'essenza* ed *essere dell'esistenza* dell'ente fisico, in quanto relativa a due generi completamente distinti di causalità fisica («orizzontale») e metafisica («verticale») nella costituzione ontologica di ciascun ente fisico.

Approfondiremo in § 5.5, pp. 354ss. la novità della metafisica tommasiana dell'essere come atto rispetto alle due metafisiche, platonica ed aristotelica, da cui deriva e con le quali spesso viene erroneamente confusa, o con l'una o con l'altra, da interpreti moderni, incapaci di cogliere la novità teoretica della proposta tommasiana. In § 5.6, pp. 381ss., a mo' di conclusione di un capitolo dedicato alla ricostruzione della dottrina dell'essere (metafisica) nei capisaldi del pensiero classico, pre–moderno, discuteremo di ciò che resta della «rivoluzione copernicana» moderna di kantiana memoria. Se infatti l'assolutizzazione del metodo assiomatico tipico della logica e dell'epistemologia moderne ha raschiato il fondo del barile dandoci tutto ciò che di meglio ci poteva dare (la *formalizzazione** assiomatica dell'analisi e del calcolo), oggi, sia il presente che il futuro, e della logica, e della matematica, e, soprattutto, della teoria della computabilità effettiva, richiedono di lavorare con sistemi logici «aperti». Sistemi che dunque recuperano in forma post–moderna diverse nozioni e metodi dimenticati dalla logica, dall'epistemologia moderne e finanche dall'ontologia moderne.

### 0.2.8.2 Verità e causalità

Assolutizzazione del metodo assiomatico in logica ed impossibilità di una fondazione della verità e della necessità logiche

Un altro dei limiti fondamentali dell'assolutizzazione del metodo assiomatico nella logica e nella scienza moderne è *l'impossibilità sistematica* in quell'approccio di dar conto del *realismo* cognitivo e quindi della *necessità* e della *verità* della conoscenza scientifica o, più in generale, razionale. Si è preso la briga di rendere conto di tutta questa serie di limitazioni della logica formale su base esclusivamente assiomatica uno dei maggiori logici e filosofi della logica del XX secolo W.V.O. Quine, rappresentante di spicco di quel movimento del neo–positivismo logico entro cui si è sviluppata la più gran parte della filosofia della scienza contemporanea. «L'imperscrutabilità della referenza» ed insieme l'impossibilità di giustificare, dopo Gödel, la nozione di «necessità» in logica dei sistemi formali, costituiscono certamente due dei maggiori contributi di chiarezza del fi-

losofo americano alla discussione logica ed epistemologica del XX secolo (Cfr. *infra*, § 4.3, pp. 257ss.).

Radice di questo limite: impossibilità di una fondazione della referenza una volta che i simboli logici sono stati costituiti

Proprio perché chiaro, però, diventa immediatamente evidente anche dov'è il limite che rende irrisolvibile il problema della referenza degli asserti in logica (*semantica**) e quindi il problema del realismo della conoscenza in epistemologia. Tale limite consiste nel fatto che, una volta costituito il simbolo logico e/o l'asserto linguistico, diventa sistematicamente impossibile giustificare una sua eventuale referenza extra-linguistica. Al massimo ciò che si può fare, come Quine giustamente insegna, è definire la rete delle eventuali equivalenze intra–linguistiche con altri simboli e/o altri asserti in differenti linguaggi, senza mai, sistematicamente, la possibilità di andare «al-di-là dello specchio» delle rappresentazioni linguistiche.

Chi però per questo affermasse che, allora, il problema semantico della referenza è *intrattabile* in logica, così che il problema epistemologico del *realismo* diventa pura questione di fede e/o convinzioni personali, come molti illustri filosofi della scienza amano dire anche in Italia, è evidentemente schiavo della «tirannia» moderna del metodo assiomatico. Riduce cioè la logica a logica della dimostrazione, e non anche della costituzione dei simboli linguistici, e il metodo logico a metodo assiomatico e non anche a metodo analitico della costituzione e ri–costituzione continua di simboli (enunciati) adeguati al loro oggetto (veri. Cfr. *infra*, § 5.5.3, pp. 369ss. e § 6.2, pp. 416ss.). Naturalmente, si tratterà sempre e comunque di verità necessariamente parziali, limitate e perfettibili, ma nondimeno *universalmente accertabili* mediante opportune procedure ripetibili.

Universalità e necessità logiche *vs.* loro presunta assolutezza

A questo riguardo è bene eliminare un equivoco esiziale. Molti filosofi, anche alcuni tomidti, pensano che per porre freno alla deriva irrazionalista del nichilismo e del relativismo culturali contemporanei, occorra difendere la possibilità per la conoscenza umana non tanto di attingere, quanto di *formulare conoscenze con valore assoluto*. Di fatto, siccome quando li si faccia riflettere, sono i primi a riconoscere che la verità assoluta può essere solo una e come tale ineffabile, e tutte le verità conoscibili all'uomo «partecipano di quest'unica verità» e sono dunque, per definizione *parziali e perfettibili*, allora era ovvio che costoro non *l'assolutezza di verità finite* stavano difendendo, ma *l'universalità* di tale verità. Ovvero la possibilità che «sempre e ovunque» chiunque, applicando lo stesso metodo, nelle medesime condizioni, giunga ai medesimi risultati. «Universalità» non si coniuga dunque ad «assolutezza», ma piuttosto a «relatività».

La posizione moderna che, dopo la scoperta dei teoremi di limitazione nelle procedure dimostrative dei sistemi formali, nega che possano esistere teorie «assolute» contro quanto il razionalismo pretendeva, perché

la validità delle stesse dimostrazioni è strettamente legata ai limiti delle diverse «logiche» usate, conduce al relativismo solo se si nega che possa esistere un metodo analitico. Ovvero che possa esistere un insieme di procedure logiche per accertare in maniera ripetibile la verità parziale delle premesse di un ragionamento entro contesti limitati.

Così, per tranquillizzare gli animi, valga la seguente citazione di Tommaso che commenteremo e approfondiremo in seguito. In questo brano l'Aquinate, con la profondità logica, ma anche la saggezza e l'equilibrio che lo contraddistinguono, cerca di rendere conto, nel suo sistema logico e metafisico «aperto», della posizione di colui che i filosofi razionalisti moderni, da Descartes a Hegel, a torto o a ragione, riconosceranno come il loro progenitore vissuto all'alba del secondo millennio, Anselmo d'Aosta:

> La verità che è nell'intelletto divino è una soltanto, dalla quale derivano nell'intelletto umano molteplici verità come da un unico volto derivano molteplici sue immagini in uno specchio. (...) Le verità che sono nelle cose sono invece molteplici, quanto le loro entità. (...) Dal che deriva che la verità di cui parla Anselmo è quella unica perché è misura di tutte le cose vere (...). La verità invece che è nell'intelletto umano o che è nelle cose, non si rapporta alle cose come una misura estrinseca ad esse e comune a tutti gli oggetti da essa misurati (come la verità divina, *N.d.R.*), ma si rapporta o come il misurato rispetto alla sua misura — com'è il caso della verità che è nell'intelletto umano che così *è necessario che sia variata secondo la varietà delle cose (oportet eam variari secundum varietatem rerum)*. Oppure si rapporta come una misura intrinseca, come accade alla verità che è nelle cose stesse. Ed anche queste misure conviene che *si moltiplichino secondo la molteplicità dei misurati*, allo stesso modo di com'è necessario che corpi diversi abbiano diverse misure dimensionali (due corpi che avessero in tutto esattamente le stesse misure, sarebbero lo stesso corpo, *N.d.R.*) (Tommaso d'Aq., *In de Ver.* I, 4c e ad 1um. Cfr. *infra*, p. 205).

Questo per ciò che riguarda *l'universalità* logica. Per quanto riguarda, poi, la *necessità* logica è ancora Quine con la sua chiarezza a indicare l'unica strada che resta al moderno per poterla ancora ragionevolmente affermare. Effettivamente, dopo Gödel afferma Quine, l'unico modo per giustificare *la necessità* nella logica dei sistemi formali è quello di accettare una qualche forma d'*essenzialismo aristotelico*, ovvero che certi predicati ineriscano necessitativamente più di altri a determinati soggetti, entrando così nel campo delle logiche modali, e quindi delle *logiche intensionali* e non semplicemente *estensionali* (Cfr. *infra*, nota 83, p. 238 e p. 268ss.).

Necessità logica ed essenzialismo aristotelico

Non volendo Quine finire aristotelico, egli preferisce rinunciare alla necessità in logica e matematica in nome della semplice *analiticità* tautologica, l'analiticità formalista dei moderni, contrapposta all'analiticità «induttiva» dei classici.

> Difendere l'essenzialismo aristotelico (...) non fa parte dei miei intenti. Una tale filosofia è tanto irragionevole ai miei occhi, quanto lo è agli occhi di Carnap e di Lewis. Ma la mia conclusione, a differenza di Carnap e di Lewis è: tanto peggio per la logica modale (...). Infatti, se non ci prefiggiamo di operare la quantificazione attraverso l'operatore di necessità, non si vede quali possano essere i vantaggi di quell'operatore rispetto al semplice citare che un enunciato è analitico (Quine 1986, 145. Cfr. *infra,* p. 268).

Fondazione causale delle essenze in Aristotele *vs.* essenzialismo platonico

Al contrario di Quine, invece, noi abbiamo accennato e mostreremo nel corso di quest'opera diversi motivi per cui vale la pena di riscoprire in chiave post–moderna alcuni concetti fondamentali della filosofia della natura aristotelica. Soprattutto quello che Quine non sembra neanche sospettare è che l'approccio aristotelico alle essenze o nature dei corpi è tutt'altro che un «essenzialismo», una difesa ideologica delle essenze. Viceversa, cuore della teoria aristotelica della necessità logica, è che essa trova il suo fondamento nella *necessità ontologica,* fisica e metafisica. Ovvero, cuore dell'aristotelismo è la fondazione delle *relazioni logiche* sulle *relazioni reali* o *causali* fra i diversi enti, la teoria di una *spiegazione causale* delle essenze. Se dunque alcuni predicati appaiono più necessitativamente legati di altri ai soggetti di determinate proposizioni è perché le proprietà cui essi si riferiscono ineriscono ai rispettivi enti — ai quali i soggetti di quelle proposizioni a loro volta si riferiscono — in quanto dipendono dalla stabilità delle medesime relazioni causali grazie alle quali quegli enti sono in grado di sussistere nel tempo. Sono perciò proprietà essenziali (*per se* in quanto contrapposte alle proprietà *per accidens*) per l'esistenza dei rispettivi enti. Laddove quelle proprietà cessassero di inerire ai rispettivi enti per il venir meno di quelle relazioni causali, gli enti stessi cesserebbero di esistere come tali, divenendo qualcosa di natura diversa.

Intimo legame fra verità logica, causalità ontologica e fondazione dell'induzione costitutiva

*Verità logica* e *causalità ontologica* appaiono così intrinsecamente legate nella *metalogica** e nella metafisica aristoteliche, come ben sa qualsiasi cultore della filosofia aristotelica. All'analisi metalogica e metafisica delle nozioni di *verità* in logica (Cfr. *infra,* § 6.1, pp. 409ss.) e di *causalità* in ontologia dell'ente fisico, nella filosofia della natura e nell'epistemologia aristotelico–tomiste (Cfr. *infra,* § 6.3, pp. 428ss.) è così dedicato per intero, il sesto capitolo conclusivo di questo volume sui fondamenti. In sintesi, come la metalogica dell'induzione costitutiva è in grado di evitare il moderno «problema di Hume» della giustificazione dell'induzione, perché non ci confrontiamo più con l'induzione enumerativa della logica delle proposizioni, così la metafisica del principio di causa è in grado di evitare la critica humiana al principio stesso di causa. Critica che si basava proprio sull'inconsistenza dell'induzione enumerativa, come procedura di giustificazione logica ed ontologica dell'universalità e necessità delle leggi causali in fisica e metafisica.

Analogia fra sistemi logici aperti e sistemi termodinamici aperti, stabili fuori dall'equilibrio: ambedue accrescono informazione al loro interno

Già Cellucci nel suo libro evidenzia lo stretto rapporto che esiste fra la teoria dei sistemi logici «aperti» e la teoria dei sistemi termodinamici «aperti», *stabili fuori dall'equilibrio,* o *sistemi complessi,* in fisica, chimica e biologia. Per questi sistemi, infatti, i principi della meccanica statistica e della termodinamica lineare — secondo l'ipotesi del caos molecolare della termodinamica di Boltzmann — risultano sistematicamente insufficienti, costringendo la fisica–matematica moderna ad una radicale revisione dei suoi fondamenti (Cfr. *infra* § 2.3.4, pp. 109ss.), molto più profonda della stessa revisione imposta dalla meccanica quantistica. Due revisioni che in un prossimo futuro, potrebbero risultare molto più intimamente legate di quanto finora si sia disposti ad accettare (Cfr. *infra,* pp. 173ss.). Il motivo di questa relazione fra le due classi di sistemi «aperti» in logica ed in fisica è presto detto, anche perché era stato nella sostanza anticipato da Aristotele stesso nella sua critica al determinismo geometrico della meccanica di Democrito. Un motivo che aveva portato Aristotele a ipotizzare l'esistenza, nell'ontologia dell'ente fisico, oltre le due «cause iniziali» (movente e materiale) della meccanica democritea, anche la causa *formale–finale,* tipica della sua «teoria complessa» della causalità fisica. Infatti, diceva Aristotele, se in tutti i processi fisici lo stato finale fosse univocamente predicibile dalle cause iniziali come afferma il meccanicismo democriteo, le dimostrazioni in fisica sarebbero analoghe a quelle della geometria, dove tutti i teoremi sono deducibili univocamente dai principi. Ma, afferma Aristotele, nella stragrande maggioranza dei processi fisici non è così. Di qui la necessità di ipotizzare un complesso causale più articolato (Cfr. infra § 6.3.2, pp. 431ss.).

Viceversa, nei sistemi termodinamici chiusi, come nei sistemi logici assiomatici, costanza dell'informazione

Similmente per noi moderni, come nei sistemi assiomatici della logica e della geometria tutta l'informazione è supposta essere nelle premesse, così nei sistemi meccanici stabili all'equilibrio della meccanica classica e della meccanica statistica tutta l'informazione sullo stato finale del processo è contenuta nelle condizioni iniziali. Ha dunque una ben profonda motivazione teoretica il prevalere del metodo assiomatico nella logica e nell'epistemo-logia della scienza moderna, a cominciare dalla sistematizzazione newtoniana della meccanica e della dinamica. Una sistematizzazione che, come tutti gli storici della scienza concordano, aveva nella geometria e nel principio cartesiano dell'evidenza il suo paradigma (Cfr. *infra,* a p. 100, la citazione assai significativa dell'*Ottica* newtoniana).

D'altra parte, non siamo certo noi né i primi né i soli ad affermare che la filosofia della natura aristotelica classica, insieme a quella moderna di Whitehead (Cfr. *infra* § 3.2.2.2, pp. 210), appare un'ontologia molto più adatta di quella del determinismo meccanicista moderno, d'ispirazione spinoziana e d'immediata derivazione newtoniana–laplaciana, per carat-

terizzare metafisicamente i *sistemi complessi* e più in generale la fisica dei *sistemi stabili fuori dall'equilibrio* (Cfr. *infra* § 2.7, pp.160ss.).

Analisi di consistenza della dottrina aristotelica delle quattro cause e teoria dei sistemi stabili fuori dall'equilibrio

Ciò che invece, in forma del tutto originale è sviluppato in questo libro è un'analisi dell'ontologia aristotelica della causalità fisica, in continuità con la fenomenologia fisica dei sistemi complessi, in quanto sistemi auto–organizzanti, capaci cioè di *generare informazione*, non presente nelle condizioni iniziali (Cfr. *infra* § 6.3.2.2, pp. 446ss.). Di questa teoria, seguendo la recente analisi di S. Galvan, (Galvan 2000), siamo in grado anche di offrire una prima analisi di consistenza logica, dal punto di vista teoretico, anche se non completamente formalizzata (Cfr. *infra,* § 6.3.2.3, pp. 452ss.). La chiave della consistenza logica del modello aristotelico di causalità è che in essa, diversamente dall'interpretazione neo–platonica della causalità finale — da cui invece dipende pesantemente la posizione degli (pseudo–)aristotelici rinascimentali che si trovarono a lottare con Galilei (Cfr. *infra,* nota 40, p. 100) —, «causalità efficiente» e «causalità finale» sono distinte. In altri termini, nel modello neo–platonico, plotiniano, di causalità finale ciò che determina la *necessità* (o alta probabilità, in meccanica statistica) *di esistere* di una dato ente/evento (la componente efficiente della causalità complessiva) è contraddittoriamente identificato con ciò che determina *l'alta improbabilità* del medesimo ente/evento (la componente finalistica della causalità). Viceversa, vedremo che, tanto nel modello aristotelico di causalità fisica, come nella teoria dei sistemi complessi, in particolare caotici, queste due componenti sono tenute ben distinte. Il che conferma che il modello aristotelico di causalità possa fornire l'ontologia adatta alla fenomenologia fisica dei sistemi complessi.

Corretta interpretazione della causalità finale aristotelica

È nell'interpretazione causale dei *comportamenti intenzionali* che la componente finalistica acquista per Aristotele (e per Tommaso) un valore esplicativo, ma soltanto perché le due componenti sono connesse da un fattore *epistemico* (la consapevolezza della positività di un certo ente/evento desiderato), sebbene anche in questo caso la causalità efficiente sia *tutta e sola* dalla parte del soggetto agente consapevole.

Siffatto valore esplicativo della causalità finale è così operante, peraltro in maniera del tutto consistente, nell'interpretazione teologica della *causalità metafisica,* della *partecipazione dell'essere come atto* di Tommaso. Nell'interpretazione, cioè, che identifica l'Assoluto che partecipa l'essere della metafisica, col *Dio personale* della rivelazione biblica, così da trasformare le famose cinque «prove» dell'esistenza di una Causa Prima dell'essere, in altrettante «vie» aperte al credente per la conoscenza di Dio — *et hoc dicimus deum* (*S. Th.,* I, 2 , 3c), «e questo lo chiamiamo Dio», si concludono infatti le suddette «vie».

### 0.2.9 Quale metafisica per il post-moderno

Utilità post-moderna di un riesame non-apologetico della filosofia della natura aristotelica e tomista

All'analisi della dottrina tommasiana della causalità metafisica sono così dedicate le ultime sezioni del capitolo sesto. Un'analisi che porteremo avanti dall'interno della neonata disciplina *dell'ontologia formale* (Cfr. *infra*, nota 76, p. 216) che tanto interesse suscita oggi in svariati campi della cultura contemporanea, dalla filosofia, alla logica, all'informatica, alle scienze cognitive, proprio perché, utilizzando lo strumento delle *logiche intensionali* (Cfr. nota 83, p. 238) e dei formalismi simbolici in esse sviluppate, consente un approccio rigoroso a queste problematiche, scevro da presupposti ideologici. Non è affatto casuale, perciò, che in queste ricerche dell'ontologia formale, la metafisica scolastica e quella di Tommaso in particolare, costituiscano due degli oggetti più attentamente studiati ed analizzati[7]. Così, la nostra analisi della metafisica naturale tomista non è certo per una finalità apologetica, come se la risposta alla questione «quale metafisica per il post-moderno», dovesse essere: «la metafisica di Tommaso d'Aquino». Ciò che si vuole mostrare, illustrando l'iter fondazionale della metafisica di Tommaso nella nozione di essere come atto, sia riguardo al problema della verità in metalogica (Cfr. § 6.2, pp. 416ss.), sia riguardo al problema della causalità nell'ontologia dell'ente fisico (Cfr. § 6.3, pp. 428ss.), è solo il suggerimento di un modello di teoria metafisica capace di porsi in continuità con la logica e l'ontologia classiche, innanzitutto aristoteliche, della cui utilità per il post-moderno e per il rinnovato interesse alle problematiche ontologiche abbiamo accennato.

Utilità della metafisica tomista per dirimere equivoci fra cosmologia e teologia

In particolare, evidenzieremo come il modello tommasiano della causalità dell'essere (dottrina della partecipazione dell'essere come atto) possa essere utile per dirimere un'infinità di equivoci che l'attuale discussione sulle ipotesi cosmologiche sull'origine dell'universo ha creato con la teologia della creazione. La metafisica tommasiana della partecipazione dell'essere è infatti l'unica capace di rendere reciprocamente consistenti quelle ipotesi metafisiche, fondazionali, della cosmologia quanto–relativista[8] sull'eternità dell'universo fisico, con l'enunciato dogmatico della teologia cattolica di un inizio assoluto «fuori del tempo» dell'universo medesimo.

La metafisica tommasiana dell'essere come atto è, infatti, perfettamente consistente, sia con l'ipotesi dell'inizio assoluto dell'universo fuori del

---

[7] Per rendersene conto, è sufficiente che il lettore sfogli uno dei siti più aggiornati e completi concernenti questa nuova disciplina della filosofia analitica contemporanea: www.formalontology.it.

[8] Come recentemente è stato autorevolmente e da più parti ricordato, queste ipotesi non sono né potranno mai essere di scienza galileiana. Infatti, in linea di principio, non potranno mai essere legate ad un controllo sperimentale, né in senso corroborativo, né in senso induttivo.

tempo della teologia, sia con quella della sua eternità della cosmologia, come affermava Tommaso stesso, proprio perché il tempo, e/o il divenire che il tempo misura, è «dentro» l'universo — o eventualmente la serie e/o l'insieme di molti universi. Tempo e divenire sono cioè nozioni che rientrano entro l'iter fondazionale, *meta*–fisico, dei primitivi delle scienze fisiche cui, appunto, l'autentica metafisica naturale deve rivolgersi come al suo proprio oggetto di studio. In questo senso, l'enunciato dell'inizio o non–inizio dell'universo è essenzialmente un enunciato indecidibile (v. *decidibilità**) dall'interno della riflessione cosmologica e metafisica. Per questo si dovrà sempre e solo parlare di enunciati con valore ultimamente *ipotetico* al riguardo. Né alcun aiuto può venire dalla nozione *meta*–fisica o fondazionale di «causa prima», nella misura in cui essa non è più modernamente confusa con la «causa iniziale assoluta» del meccanicismo metafisico cartesiano — il «dio»cartesiano della «spintarella iniziale» al sistema inerziale dell'universo. L'essere può venire partecipato sia ad una catena causale finita che infinita, nella metafisica tommasiana, purché la seconda non sia concepita come «chiusa» su di sé in senso ontologico. Purché, cioè, sia ben chiaro che la fondazione dell'essere dell'universo dipenda, al limite *ab aeterno* e comunque indipendentemente dal corso del tempo cosmico[9], da un principio causale «fuori» dell'universo e del tempo stessi. Dunque, non solo la fisica, ma neanche la metafisica potrà mai avere argomenti sufficienti per dirimere la questione circa l'eternità o non-eternità dell'universo fisico.

Carattere teologico dell'inizio assoluto del mondo *vs.* carattere metafisico della fondazione della sua esistenza

In questo senso, l'affermazione teologica della creazione come inizio assoluto fuori del tempo dell'universo, non solo è consistente con la metafisica della partecipazione dell'essere tommasiana come la sua opposta, ma non entra neanche in contraddizione con i modelli cosmologici che suppongono ipoteticamente l'eternità dell'universo o dell'insieme degli universi. Il motivo di questa paradossale compatibilità è stato enucleato da Tommaso stesso, proprio all'indomani del famoso pronunciamento dogmatico del Concilio Lateranense IV (a. 1215) circa l'inizio assoluto dell'universo fuori del tempo, come verità cui il credente in comunione con la Chiesa cattolica è tenuto a dare il proprio assenso di fede.

Carattere "aperto" del sistema metafisico tommasiano

E la compatibilità deriva essenzialmente dalla nozione logica di «sistema aperto» valida per tutte le teorie sia fisiche che metafisiche si possano ragionevolmente costruire. Se infatti tanto per la fisica come per la metafi-

---

[9] Afferma testualmente Tommaso: «Ciò che è creato passa all'esistenza senza alcun divenire né alcuna mutazione, perché ogni divenire ed ogni mutazione presuppongono che qualcosa esista prima. Quindi Dio nel creare produce le cose senza alcuna mutazione. (…) Se pertanto da una qualche azione viene sottratto il divenire, non resta che la relazione. (…) Quindi *la creazione nella creatura altro non è che una qualche relazione col creatore, come col principio del suo essere*» (*S.Th.*, I,45,3c. Cfr. *infra* § 6.3.3.2, pp. 464ss.).

sica la questione dell'inizio assoluto dell'universo è una questione indecidibile (v. *decidibilità**) , nulla vieta che «per rivelazione soprannaturale» — quindi per un ulteriore assioma esterno a qualsiasi procedura risolutiva (analitica) sia fisica che metafisica della ragione naturale — si scelga in maniera assertiva, apodittica e non più ipotetica, fra una di queste alternative. L'importante è, sottolineava Tommaso, all'indomani del pronunciamento dogmatico del Concilio, che risulti ben chiaro a tutti, credenti e non, che a questa verità si dà un assenso ragionevole (non–contraddittorio con altre verità razionali dimostrate o dimostrabili), per fede e non per dimostrazione.

> Che il mondo abbia avuto un inizio è qualcosa oggetto di fede, ma non né dimostrabile né conoscibile (con la sola ragione, *N.d.R.*). È bene considerare e riflettere su tutto questo, affinché qualcuno, pretendendo di dimostrare ciò che è oggetto di fede, non porti a sostegno di questa sua pretesa delle motivazioni che non possono dimostrare nulla, così da offrire materia di irrisione ai non credenti che allora potrebbero pensare che noi crediamo certe verità non per fede, ma per queste false motivazioni (*S.Th.*, I,46,2. Cfr. *infra*, p. 471).

Il modello cosmologico di Hawking e la teoria metafisica tommasiana della Causa Prima

Insomma, se i teologi moderni si fossero sforzati di comprendere prima e di usare poi l'interpretazione, il modello, che la dottrina metafisica della partecipazione tommasiana può fornire degli asserti dogmatici della teologia della creazione, non solo non avremmo avuto all'inizio della modernità una «questione galileiana», ma neanche una ben più modesta «questione hawkinghiana» al termine di essa. Non per nulla saremo in grado di offrire al termine del nostro lavoro un'interpretazione, coerente con questi principi metafisici e metalogici, dell'affermazione di Stephen Hawking stesso con cui, egli per primo, ha cercato di trarre fuori il suo lavoro e la sua proposta dal interpretazioni inadeguate con le quali è stato confuso da estimatori e detrattori. In uno dei suoi ultimi libri, alla domanda di un'intervistatrice della BBC, Sue Lawley, che chiedeva a Hawking se con la sua ricerca sui fondamenti della cosmologia, «fosse riuscito del tutto a fare a meno di Dio», Hawking, negando recisamente questa semplificazione, ha risposto:

> Tutto ciò che la mia opera ha dimostrato è che non si deve dire che il modo con cui l'universo ha avuto inizio sia stato un capriccio personale di Dio. Rimane però ancora la domanda: *perché l'universo si dà la pena di esistere. Se crede, può dire che Dio sia la risposta a questa domanda* (Hawking 1993, 204).

Fondazione metafisica del cosmo e sua possibile interpretazione teologica

Rimandando al resto della trattazione la spiegazione di cosa Hawking intenda con «capriccio personale di Dio» al riguardo (Cfr. *infra*, p. 458ss.), il secondo punto della sua risposta va qui evidenziato. La «domanda ultima» cui Hawking fa riferimento è precisamente *la domanda meta–fisica* per eccellenza, quella cui logicamente la scienza fisica, se vuol essere una teoria consistente, *non può* dare una risposta, poiché riguarda i fondamenti stessi metalinguistici e ontologici di quella scienza. Tommaso fornisce una risposta a questa domanda come meta–fisico, una risposta perfettamente compatibile con una scienza fisica che riconosca il suo carattere di sistema logico, formalmente e semanticamente «aperto». Ed anche il passaggio ulteriore di Hawking, quello in cui, molto correttamente, si distingue fra domanda e risposta metafisica, ed eventuale domanda e risposta teologica per un credente, è perfettamente compatibile con quanto Tommaso affermava, concludendo le sue famose cinque vie. Esse infatti terminavano nella «dimostrazione» metafisica del fondamento, con la già ricordata espressione *et hoc dicimus deum* (*S. Th.,* I, 2 , 3c). Un conto è la risposta alla questione metafisica che anche un non–credente come Hawking può e deve porsi, un conto è l'utilizzo eventuale teologico, ed anche apologetico, che un credente potrebbe fare di tale risposta, nella misura in cui la divinità in cui crede possa porsi in continuità con l'entità assoluta cui la ricerca metafisica arriva.

Distinzione fra dimensione teoretica e sapienziale della metafisica

Questa distinzione fra la dimensione *teoretica*, fondazionale della riflessione metafisica, e la sua dimensione *sapienziale* ed eventualmente *religiosa* è e dovrà essere una delle caratteristiche di quella metafisica post-moderna di cui stiamo qui parlando. Dopo i guasti del razionalismo integralista della teologia e dello scientismo ideologico dell'ultimo millennio è bene che la distinzione degli ambiti e dei reciproci limiti siano ben messi in evidenza, senza confusioni ideologiche ed esemplificazioni divulgative pericolose.

Ma, proprio la possibilità di affrontare la domanda metafisica e di cercare razionalmente delle risposte compatibili elimina un ultimo equivoco su cui l'irrazionalismo del «pensiero debole» contemporaneo crea un'infinità di confusioni nella cultura contemporanea, anche e soprattutto di massa. L'equivoco che l'impossibilità di una qualsiasi forma razionale di conoscenza assoluta significhi anche *l'impossibilità di affermazione razionale dell'assoluto,* con un'esiziale confusione fra metodo ed oggetto della conoscenza razionale.

Nozione tomista e nozione moderna dell'assoluto

Insomma, affermare che è impossibile una qualsiasi forma razionale di conoscenza onnicomprensiva di un determinato oggetto e men che mai dell'intera realtà, non vuol dire che per questo si è preclusa ogni forma di conoscenza razionale dell'assoluto. A meno che non si sia deciso, ideologicamente perché infondatamente, d'identificare *tout court* l'assoluto

con la totalità del reale. Una forma di conoscenza teoretica dell'assoluto, parziale, sempre incompleta, che conterrà cioè sempre affermazioni di cui è incapace di accertare la verità o la falsità — si pensi all'*indecidibilità** razionale della tesi sull'inizio assoluto dell'universo appena ricordata —, affermazioni inoltre della cui consistenza relativa occorre sempre di nuovo accertarsi, senza mai darle per scontate una volta per sempre; in una parola, una forma di conoscenza razionale sempre perfettibile dell'assoluto è del tutto coerente con i limiti della razionalità post–moderna, come lo era per quella pre–moderna.

L'assoluto oggetto della metafisica non può identificarsi con la totalità dell'essere

Semmai, ciò a cui si deve rinunciare nella metafisica post–moderna è l'idea che l'assoluto oggetto di una conoscenza razionale consistente si identifichi *con la totalità dell'essere*, con la «sostanza» spinoziana o con «l'intero dell'essere» hegeliano. Le antinomie logiche ci hanno insegnato che le inconsistenze cominciano quando le totalità infinite cui ci si riferisce hanno la cardinalità di *V*, la collezione universale. L'inconsistenza della metafisica di Emanuele Severino, per esempio, ha la sua radice precisamente nel fatto che per lui l'assoluto corrisponde all'intero dell'essere, ovvero alla totalità degli enti con il grafico delle loro relazioni completamente definito (Basti & Perrone 1996, pp.156ss.). Così, se nonostante questo, si vuole affermare che l'assoluto è comunque la totalità degli enti, si deve accettare che ultimamente il fondamento è *l'assenza di fondamento*, proprio per l'antinomicità risultante di tale nozione. Si deve accettare che ultimamente affermazione e negazione «sì» e «no» coincidano e dunque che la risposta alla domanda metafisica è la negazione della ponibilità stessa, razionale, della domanda, come si afferma nelle metafisiche che sono alla base delle grandi religioni orientali, per questo oggi così di moda fra i cultori di scienze logiche e matematiche.

Metafisica ed istanza pre-religiosa dell'Assoluto

Il che potrebbe essere anche accettabile, per quanto doloroso per un occidentale, se fosse l'unica alternativa. Ma così non è: per evitare l'antinomia metafisica radicale basta porre «fuori» della totalità del reale il suo fondamento e invece che indebolire il grafico delle relazioni in *V*, rinunciando a specificare l'entità degli elementi che la compongono, accettare una polisemicità della nozione di essere, rinunciare a identificare l'esistenza con l'appartenenza di classe, fosse anche l'appartenenza a *V*. Ovvero, basta accettare che, mediante la distinzione fra entità ed esistenza ed il meccanismo della loro reciproca, progressiva determinazione, si garantisca che, sebbene tutti gli enti attualmente esistenti in *V* vi esistano perfettamente specificati, non tutti vi esistano attualmente. Alcuni possono esistere in *V* in forma virtuale, sebbene il confine fra queste due forme di esistenza con tutte le loro gradualità intermedie, sia continuamente mobile nei due sensi, così da mantenere il sistema globalmente stabile. Per rendere consistente il sistema, sarà così sufficiente

«aprirlo», supporre che il suo fondamento sia «fuori» della totalità *V* in questione.

Un fondamento in cui entità ed esistenza coincidano senza resti, così da essere attualmente infinito, in forma non antinomica perché Assolutamente Semplice, pura Attualità, senza né potenzialità né differenze. In una parola, l'assoluto può essere oggetto di teorizzazione razionale, purché si accetti l'idea che non si identifica con *l'universitas rerum* con la totalità degli enti, e purché si ammetta che di questo assoluto non si potrà mai avere una conoscenza completa. Purché non si pretenda, insomma, che la sua teorizzazione possa costituire un sistema logicamente «chiuso». Ecco perché, per questa sua necessità razionale di *trascendere* comunque l'universo degli enti e delle verità parziali ad essi relative, possiamo ardire di designare quest'Assoluto con la maiuscola, al di qua di ogni scelta di fede e di ogni professione di religiosità.

Impossibilità di una metafisica assoluta e possibilità della ricerca dell'Assoluto

A tal proposito, stavolta in quanto credente e filosofo cristiano, mi piace poter citare, a sostegno di questa mia tesi ed a conclusione di queste riflessioni introduttorie, un altro brano della recente Enciclica *Fides et Ratio* del Papa Giovanni Paolo II. Esso fa da complemento all'altro (n. 51), citato all'inizio di questa introduzione, dove si affermava che nessuna filosofia storicamente prodotta dall'ingegno umano potrà mai pretendere di costituire la conoscenza assoluta, «di abbracciare la totalità della verità, né di essere la spiegazione piena dell'essere umano, del mondo e del rapporto dell'uomo con Dio».

Nondimeno, la ricerca dell'Assoluto, appare intrinsecamente legata alla vita dell'uomo, in un'inscindibile unità e consequenzialità, nella reciproca distinzione, fra ricerca teoretica ed esistenziale, fra ricerca metafisica e sapienziale

> A questi interrogativi nessuno può sfuggire, né il filosofo né l'uomo comune. Dalla risposta ad essi data dipende una tappa decisiva della ricerca: se sia possibile o meno raggiungere una verità universale e assoluta. Di per sé, ogni verità anche parziale, se è realmente verità, si presenta come *universale*. (...) Oltre a questa universalità, tuttavia, l'uomo cerca un assoluto che sia capace di dare risposta e senso a tutta la sua ricerca: qualcosa di ultimo, che si ponga come fondamento di ogni cosa. In altre parole, egli cerca una spiegazione definitiva, un valore supremo, oltre il quale non vi siano né vi possano essere interrogativi o rimandi ulteriori. Le ipotesi possono affascinare, ma non soddisfano. Viene per tutti il momento in cui, lo si ammetta o no, si ha bisogno di ancorare la propria esistenza ad una verità riconosciuta come definitiva, che dia certezza non più sottoposta al dubbio.(...)

Non sempre, è doveroso riconoscerlo, la ricerca della verità si presenta con una simile trasparenza e consequenzialità. La nativa limitatezza della ragione e l'incostanza del cuore oscurano e deviano spesso la ricerca personale. Altri interessi di vario ordine possono sopraffare la verità. Succede anche che l'uomo addirittura la sfugga non appena comincia ad intravederla, perché ne teme le esigenze. Nonostante questo, anche quando la evita, è sempre la verità ad influenzarne l'esistenza. (...)

Si può definire, dunque, l'uomo come *colui che cerca la verità* (nn.27s.).

## 0.3 Bibliografia dell'Introduzione

BASTI G. (1997). «L'approccio aristotelico-tomista alle aporie dell'induzione». In: BASTI *ET AL.* (1997), pp. 41-95.

BASTI G., PERRONE A. L. (1996). *Le radici forti del pensiero debole: dalla metafisica, alla matematica, al calcolo*, Il Poligrafo e Pontificia Università Lateranense, Padova-Roma

BASTI G., BARONE F., TESTI C. (1997). *Il fare della scienza. I fondamenti e le palafitte*, Il Poligrafo, Padova.

CELLUCCI C. (1998) *Le ragioni della logica*, Roma–Bari: Laterza, 2000[2].

DRAKE S. (1990). *Galileo Galilei, pioniere della scienza*, Muzzio, Padova, 1992.

FEYNMAN R. (1984). *La legge fisica*, Bollati–Boringhieri, Torino.

— (1989). *QED. La strana teoria della luce e della materia*, Adelphi, Milano

GALVAN S. (2000). «Sul finalismo», in ARECCHI F. T. (2000) (A CURA DI). *Determinismo e complessità*, Armando, Roma, pp. 223-238.

HAWKING S. W. (1993). *Buchi neri e universi neonati. Riflessioni sull'origine e il futuro dell'universo.* Bompiani, Milano.

KOYRÉ A. (1961). *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Einaudi, Torino.

— (1980). *Introduzione a Platone*, Vallecchi, Firenze.

NEWTON I. (1704). *Optice*, trad. Latina a cura di S. Clarke, Losanna e Ginevra.

SCARAVELLI L. (1990). *Scritti kantiani*, La Nuova Italia, Firenze (Ristampa anastatica).

TOULMIN S. (2001). *Return to reason*, Harvard University Press, Cambridge MA.

# PARTE PRIMA

## Filosofia della natura e della scienza: un quadro storico della problematica

# 1. Dalle origini al XIX secolo

*Dalla mancanza di distinzione fra filosofia della natura e scienze della natura nel pensiero classico, alla nascita delle scienze moderne nei secc. XVI–XVII, all'eclissi della filosofia della natura nei secc. XVII–XIX, alla crisi dei fondamenti della matematica moderna nella seconda metà del XIX secolo.*

## 1.1 Filosofia della natura e scienza moderna: le origini

**ICONE**

| | |
|---|---|
| | Importante |
| | Definizione |
| | Sommario |
| | Glossario |
| | Bibliografia |

Non è facile oggi scrivere un manuale di *filosofia della natura* che pretenda, come il presente, di essere anche un manuale di *filosofia della scienza*. La difficoltà deriva da tutta una serie di motivazioni storiche e teoretiche insieme che per essere adeguatamente illustrate e spiegate richiederebbero da sole non uno, ma più volumi, per di più d'indole specialistica e quindi di non facile lettura.

Dovendoci per forza di cose limitare, possiamo sintetizzare dicendo che, nell'antichità classica e medievale della nostra cultura occidentale, la *physica* o *philosophia naturalis* includeva nel suo oggetto di studio non solo l'oggetto teoretico di studio di ciò che oggi definiamo col termine di *filosofia della natura*, ma anche l'oggetto sperimentale di studio di quello sterminato e sempre più articolato insieme di discipline scientifiche che nella modernità definiamo col termine di *scienze naturali*[10].

La filosofia della natura ha cominciato a distinguersi dalle scienze naturali solo nella modernità, la cui origine viene infatti a coincidere con la nascita nel XVI e nel XVII secolo delle scienze naturali, appunto «moderne», la fisica galileiano–newtoniana innanzitutto. Tali scienze vengono progressivamente a caratterizzarsi infatti per un loro specifico *oggetto* (fenomenico) e per un loro specifico *metodo di indagine* (sperimentale) e di *dimostrazione* (dapprima apodittico–deduttivo, quindi, dal secolo scorso, ipotetico–deduttivo), nonché per un loro specifico *linguaggio formale** (matematico), completamente distinto dall'oggetto, dal metodo e dal lin-

---

[10] Come appare dalla *legenda* di simboli a fianco del testo, ci serviremo d'icone per evidenziare diverse parti dell'esposizione, in modo da facilitarne la lettura e l'apprendimento selettivi da parte del lettore.

guaggio dell'antica metafisica e dell'antica filosofia naturale. Definiremo in seguito (cfr. § 4.1, pp. 225ss.) la nozione di filosofia della natura come parte della metafisica, per renderci conto, più approfonditamente, del senso generale di queste affermazioni.

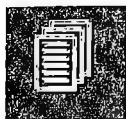
L'origine della scienza fisica e matematica nell'Antica Grecia

D'altra parte, l'affermarsi della scienza moderna e del suo metodo matematico d'indagine e di dimostrazione ha decretato la vittoria della filosofia della natura d'ispirazione *platonica* rispetto a quella d'ispirazione aristotelica del tardo medioevo. Sappiamo come la dottrina di Pitagora (VI sec. a.C.), che faceva degli enti matematici l'essenza della realtà fisica, fosse stata ripresa da Platone (IV sec. a.C.), sviluppata dall'eccezionale lavoro assiomatico di Euclide di Alessandria (III sec. a.C.) e quindi applicata sistematicamente per lo studio delle realtà fisiche e delle loro leggi da Archimede di Siracusa (III sec. a.C.).

Progressiva separazione fra metafisica, matematica, fisica e la nascita della logica

Nella stessa grecità, però, quest'impostazione pitagorico–platonica subì i suoi primi radicali ridimensionamenti. Innanzitutto la critica di Aristotele (IV sec.) alle inconsistenze formali del sistema platonico (teoria dei numeri e delle idee) e della sua dottrina della «partecipazione formale» portò allo sviluppo autonomo dalla matematica del sistema metafisico aristotelico. Esso misconosceva alle scienze matematiche un carattere fondativo rispetto alle scienze naturali e, allo stesso tempo, riconoscendo all'ente matematico una realtà unicamente mentale, astratta, legava l'indagine filosofica sull'essere — quella che dopo Aristotele si definirà «metafisica» — direttamente alle scienze fisiche e non a quelle matematiche, com'era invece nella tradizione pitagorico–platonica. Di qui la prima sistematizzazione della logica formale – ed in essa della *teoria della dimostrazione* e del *metodo deduttivo* – operata da Aristotele, basata sulle proposizioni del linguaggio ordinario e non su quelle, molto più rigorose, del linguaggio matematico, come invece farà, per esempio, Euclide nei suoi *Elementi*. D'altra parte, con l'opera di questo illustre matematico alessandrino, la matematica consuma, per altra via complementare a quella aristotelica, la sua separazione dalla metafisica. Non solo l'aritmetica – come già lo era per Pitagora –, ma la stessa geometria diviene con Euclide una scienza puramente formale, deduttiva, svincolata da ogni legame con la realtà, di cui cessa di essere una rappresentazione ideale.

Il primo shock della matematica greca e il suo superamento mediante il principio di esaustione

L'uso del metodo empirico nelle matematiche ed in particolar modo nelle geometrie torna in auge con Archimede, ma come *metodo euristico* per la scoperta di nuovi teoremi, di cui fornire in un secondo tempo una dimostrazione formale, generalmente per assurdo. Ed è precisamente in questo modo che il programma pitagorico–platonico incontrò l'ostacolo più grave ad una generalizzazione della rappresentazione geometrica della realtà fisica, empiricamente accertabile.

Sappiamo come il geniale scienziato di Siracusa, fra i contributi maggiori che diede alla matematica, fu il calcolo del volume della sfera, del cilindro, la quadratura del segmento parabolico, nonché dello stesso valore di $\pi$ mediante l'applicazione come metodo di calcolo del *principio di esaustione** inventato da un altro geniale discepolo di Platone, Eudosso di Cnido (IV sec.), forse il più grande matematico dell'antichità greca. Questi infatti, grazie al suo principio, aveva reso possibile alla matematica greca di superare il primo grande shock della sua storia: *la scoperta degli incommensurabili*. La scoperta cioè che non esistevano solo i numeri naturali e razionali, che nascevano come rapporti fra grandezze geometriche commensurabili, ma anche i numeri irrazionali che nascevano come rapporti fra grandezze incommensurabili (p.es., $\sqrt{2}$ come rapporto fra il lato di un quadrato e la sua diagonale).

La dimostrazione di Eudosso come dimostrazione per assurdo

Una scoperta che aveva posto in crisi d'un sol colpo la visione pitagorica del numero come rapporto finito e quindi della matematica come scienza dell'armonia e dell'assoluta, perfetta staticità. La genialità di Eudosso fu quella di aver insegnato ai Greci a non aver paura dell'infinito — e i numeri irrazionali si caratterizzano proprio per l'estensione infinita della loro «coda» decimale — purché si rappresentino i numeri non come le statiche armonie pitagoriche, ma come grandezze che variano e possono quindi approssimare valori esatti, proprio come, nella rappresentazione classica del metodo delle esaustioni (cfr. Figura 1-1), moltiplicando all'infinito i lati di un poligono essi *non potranno non coincidere* — si tratta dunque di una dimostrazione per assurdo — con la circonferenza in cui il poligono è iscritto. Archimede, dunque — anche perché di Eudosso non c'è rimasto quasi nulla —, fu colui che mostrò la fecondità del principio scoperto dal suo illustre predecessore nell'Accademia platonica, come metodo di calcolo di aree, superfici e rapporti «incommensurabili» quali appunto quelli fra una circonferenza e il suo diametro (il famoso valore di $\pi$).

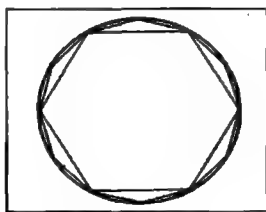



Figura 1-1. Illustrazione intuitiva del *principio di esaustione*. Aumentando all'infinito i lati del poligono inscritto esso non potrà non coincidere con la circonferenza.

Il secondo shock non superato dalla matematica greca: il problema della quadratura delle curve

Ma proprio quando si trattò di generalizzare questo metodo di calcolo, Archimede s'imbatté nel cosiddetto problema della *quadratura delle curve*, nel problema del calcolo, cioè, mediante l'opportuna equazione numerica associata, dell'area sottostante ad una curva di qualsiasi forma. Come sappiamo, per aggirare questo problema di calcolo, Archimede inventò il suo ingegnoso «metodo meccanico» di soluzione di problemi matematici, vero antesignano della fisica–matematica moderna. Dapprima, seguendo il metodo di Eudosso delle doppie negazioni, dimostrava per assurdo la non contraddittorietà dell'esistenza della soluzione. Quindi «calcolava» la soluzione (approssimata) del problema mediante un opportuno esperimento fisico, misurando le grandezze fisiche relative e le rispettive variazioni. Così egli scoprì leggi famose, quale quelle della lunghezza dei bracci di leva, del galleggiamento dei corpi, etc.

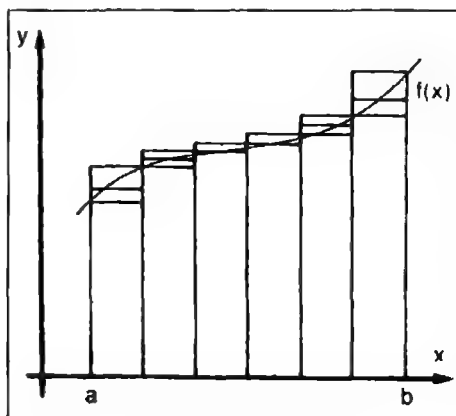



Figura 1-2. Rappresentazione moderna del problema del calcolo dell'area sottesa ad una curva (=«quadratura di una curva») mediante il calcolo dell'integrale definito in un determinato intervallo di quella curva.

La soluzione del problema delle quadrature coincide con la nascita della scienza moderna

Per risolvere matematicamente il problema della quadratura delle curve o di calcolo delle forme integrali bisognerà attendere così l'età moderna. Anzi, dal punto di vista della storia della matematica, si può dire che, se l'inizio dell'età moderna coincide con la nascita della scienza moderna, la nascita della scienza moderna coincide con la soluzione di questo problema. Fu infatti l'invenzione del calcolo infinitesimale, ad opera di Newton e Leibniz, a risolvere il problema della quadratura dopo duemila anni, nel XVII secolo. In questo modo, il calcolo diede alla «nuova scienza» galileiana della natura, nata un secolo prima, tutta quella capacità predittiva sull'evoluzione temporale delle grandezze fisiche rappresentabili geometricamente, che è alla base della potenza e quindi dei successi della scienza e della tecnologie moderne, almeno degli inizi.

La natura non va contemplata, ma interrogata attraverso le nostre ipotesi matematiche

Galilei aveva infatti sì recuperato l'antica idea greca della natura matematica e soprattutto geometrica delle leggi fisiche, ma integrando quest'idea con due nuovi principi metodologici:

- La natura non va contemplata, ma *interrogata* mediante le nostre ipotesi matematiche in base alle quali costruire degli *esperimenti*.
- L'osservazione sperimentale della natura avviene, non attraverso i cinque sensi e l'esperienza ordinaria, ma attraverso un rigoroso metodo sperimentale, inteso come *misurazione* di grandezze fisiche (Cfr. *infra* § 4.2.1, pp. 232ss.).

Mancanza di generalizzazione del metodo galileiano per l'assenza di un metodo di calcolo universale, capace di risolvere il problema della quadratura delle curve

Tuttavia la famosa *legge della caduta dei gravi* di Galilei, che in maniera rivoluzionaria legava la caduta non al peso e quindi alla natura del corpo — contro il buon senso e la fisica aristotelica —, ma *cinematicamente* (v. *cinematica**) alla sola «variabile geometrica» dell'altezza relativa del corpo (e quindi *dinamicamente* (v. *dinamica*), dopo Newton, all'azione della forza di gravità terrestre), aveva la forma matematica della ben nota equazione della parabola, conosciuta anche dai Greci. Così senza l'invenzione cartesiana della *geometria analitica* e l'invenzione del *calcolo infinitesimale* che rendeva possibile associare equazioni di tipo algebrico (polinomi) a curve di qualsiasi forma, la scienza galileiana non sarebbe mai diventata la scienza moderna che conosciamo.

Viceversa, grazie al calcolo, che è alle radici del successo della scienza moderna, l'intuizione galileiana ha potuto sviluppare tutta la sua straordinaria fecondità. Anche se, purtroppo, almeno agli inizi della modernità, al prezzo di una peraltro non–necessaria *assolutizzazione* del concetto di numero, legata all'uso del principio di evidenza nell'*algebra** e nel calcolo, da parte di Descartes e Leibniz innanzitutto. Un'assolutizzazione che è alla radice dello scientismo moderno.

In ogni caso, l'interpretazione essenzialista, che Galilei abbracciò per render conto della rivoluzione culturale della «nuova» scienza (Cfr. sopra, p. 20), dà ragione a Koyré nel definire la svolta epocale della nascita della scienza moderna come una vittoria del sistema platonico su quello aristotelico.

> Se tu reclami per la matematica uno stato superiore, se per lo più le attribuisci un valore reale e una posizione dominante nella fisica, sei platonico. Se invece vedi nella matematica una scienza astratta che ha perciò un valore minore di quelle – fisica e metafisica – che trattano dell'ente reale, se in particolare affermi che la fisica non ha bisogno di altra base che l'esperienza e dev'essere costruita direttamente sulla percezione, che la matematica deve accontentarsi di una parte secondaria e sussidiaria sei un aristotelico. In questo dibattito non si pone in discussione la certezza del-

> le dimostrazioni geometriche, ma l'Essere. E neppure l'uso della matematica nella scienza fisica – nemmeno gli aristotelici avrebbero mai negato il diritto di misurare ciò che è misurabile e di contare ciò che è numerabile – bensì la struttura della scienza e quindi la struttura dell'essere. (...) È evidente che per i discepoli di Galileo, come per i suoi contemporanei e predecessori, matematica significa platonismo. (...) Il *Dialogo* e i *Discorsi* ci narrano così la storia della scoperta o meglio della riscoperta del linguaggio parlato dalla natura. Ci spiegano la maniera di interrogarla, cioè contengono la teoria di quella ricerca sperimentale in cui la formulazione dei postulati e la deduzione delle loro conseguenze precede e guida l'osservazione. Questa poi, almeno per Galileo è una prova «di fatto». La nuova scienza è per lui una prova sperimentale di platonismo (Koyré 1980, 160.163.167).

Il carattere non-filosofico del «platonismo» galileiano e il suo rifiuto dell'uso dell'algebra nei calcoli della «nuova fisica»

Quest'affermazione di platonismo *di fatto* dell'impostazione galileiana, va comunque mitigata con le più recenti scoperte fatte dagli storici come Stillman Drake (Drake 1990), che hanno lavorato direttamente sugli appunti di Galilei, dell'indole assolutamente non filosofica, ma strettamente sperimentale della scoperta galileiana del 1604 della legge della caduta dei gravi. Una scoperta derivata dalle sue rigorose e diuturne misurazioni, che lo portarono a convincersi del comune rapporto fra la distanza percorsa dal corpo in moto e il quadrato dei tempi, in diverse situazioni sperimentali. Come Drake sottolinea con forza, queste scoperte e queste misurazioni furono fatte da Galilei senza che egli abbia mai scritto un'equazione algebrica, sebbene evidentemente egli non dovesse ignorare l'*algebra** sotto forma di equazioni, che proprio durante i suoi anni di insegnamento della matematica a Pisa andava affermandosi. Tuttavia nei suoi appunti, egli si limitò ad usare in maniera ferrea la nozione di «numero» contenuta nel V Libro degli *Elementi* di Euclide come rapporto e come proporzionalità fra grandezze continue, così che egli lavorò soltanto con numeri interi e frazioni intere di numeri. Se questo rendeva i suoi calcoli molto complicati e l'algebrizzazione di essi ad opera di Descartes e Leibniz può essere certamente salutata come una semplificazione che — lo ripetiamo — è alla base della diffusione e del successo della scienza moderna, pur tuttavia essi erano all'epoca assolutamente rigorosi, visto che la fondazione del calcolo in senso moderno dovrà attendere l'ottocento e il lavoro di Dedekind sul concetto di «numero reale» (Cfr. cap. 2).

Limite computazionale della fisica galileiana alla radice del suo valore post-moderno

Il limite computazionale della fisica–matematica galileiana — col senno di poi, quello della matematica post–moderna dopo i teoremi di Gödel — diviene così, di fatto, un pregio dal punto di vista teoretico. Un pregio che è alla base anche dell'accettazione da parte di Galilei nel 1616 — all'epoca della sua prima denuncia al tribunale ecclesiastico — del

suggerimento di Bellarmino di dare alle sue dimostrazioni, e a quelle della fisica–matematica copernicana in generale, valore *ipotetico*, anche se non nel senso delle "finzioni mentali" dei suoi nemici aristotelici. Un'ipoteticità che non andava a contrastare col valore *assoluto* degli asserti della fede. Infatti, nota saggiamente Drake,

> Galileo — e dopo di lui Newton — si preoccuparono di evitare eventuali trappole ragionando soltanto in termini di rapporti e di proporzionalità (definita da Euclide come «identità di rapporto»), *relazioni non vincolate ai numeri come assoluti*. Leibniz e prima di lui Cartesio, non osservarono la medesima cautela, e con ciò aumentarono la facilità di calcolo, alle spese del rigore matematico del procedimento (almeno fino all'assiomatizzazione del calcolo nel secolo XIX, *N.d.R.*) (Drake 1990, 6).

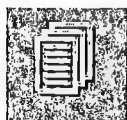
## 1.2 Eclissi moderna della filosofia della natura

La scienza moderna e la ripresa della visione democritea

I rapporti fra filosofia della natura e le nascenti scienze naturali nei primi tre secoli della modernità sono stati in seguito resi difficili dal fatto che le scienze naturali — causa la sciagurata opposizione ad esse nel processo a Galilei da parte di filosofi della natura aristotelici (Cfr. sopra § 0.2.4, pp. 11ss.) — si presentarono invece, come portatrici di certezze *assolute* e non *ipotetiche*, sostitutive di quelle dell'antica filosofia naturale e addirittura dell'antica metafisica scolastica (Koyrè 1961)[11]. Così, la suddetta ripresa dell'ispirazione pitagorico–platonica nello studio della natura, non significò la contemporanea ripresa del contenuto più propriamente idealista e spiritualista della metafisica platonica, bensì piuttosto l'affermarsi di

[11] Il titolo del testo qui citato si spiega da solo: «Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione». Che il rigore formale delle discipline scientifiche contemporanee, naturali e matematiche, abbia raggiunto livelli di raffinatezza sconosciuti al pensiero classico fisico e matematico è un dato di fatto incontestabile. Che questo rigore sia però metodicamente insufficiente per essere esteso in quanto tale a discipline di pensiero quali la metafisica e la logica classiche, contenutisticamente molto più ricche e che nell'antichità avevano raggiunto un grado di formalizzazione tutt'altro che disprezzabile, è altrettanto incontestabile (Bochenski 1956). Il pensiero della tardo - modernità o «post–modernità» in cui viviamo è chiamato dunque ad integrare tali contenuti del pensiero classico logico e metafisico nel rigore formale tipico della riflessione moderna, estendendo e approfondendo il suo formalismo, limitato finora alle scienze fisico–matematiche. È questa la sfida da cui in larga parte dipendono nel presente e nell'immediato futuro i destini del pensiero umanistico e scientifico che non sopportano più di essere separati o peggio ideologicamente contrapposti, com'è stato nella modernità. Tale sfida è stata ampiamente raccolta dalla contemporanea «scuola analitica» di metafisica, in particolare dall'ontologia formale. Essa, però, è tutt'altro che lontana dalla migliore tradizione scolastica. Per un aggiornamento su questi temi, rimando al recente (Basti *et al.*, 1999).

una visione del mondo che si rifaceva esplicitamente ad un meccanicismo base geometrica di tipo democriteo, riletto in chiave anti-metafisica e più tardi anti-filosofica *tout-court*.

La scienza moderna e l'affermarsi dell'ideologia scientista: illuminismo e positivismo

È questo il nucleo fondamentale di quelle «visioni del mondo» o «ideologie*» *illuminista* (sec. XVIII) e *positivista* (sec. XIX) caratterizzate dal loro «scientismo» che, insieme con l'altra visione del mondo o *ideologia** ad esse opposta ed in qualche modo successiva, quella *storicista*, hanno fatto sì che l'età moderna fosse definita da Martin Heidegger come l'«età delle visioni del mondo» (Heidegger 1950). La crisi moderna della filosofia della natura ha dunque coinciso con la crisi della filosofia *tout court* di fronte all'avanzata delle scienze naturali, dei loro metodi sperimentali e del loro linguaggio matematico. Sempre di più nella cultura e nella mentalità moderne sono le scienze ad essere divenute dispensatrici — per i popoli e per i singoli, per i governanti e i loro sudditi, dapprima dell'occidente e poi anche dell'oriente — di quelle certezze conoscitive, di quella «conoscenza bene fondata» detta appunto «scientifica» (l'ἐπιστήμη dei greci e la *scientia* dei latini) che nell'antichità erano dispensate dalla metafisica e dalla teologia.

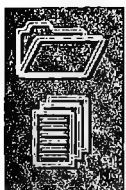
L'eclissi moderna della filosofia della natura

Ciò è divenuto talmente vero, come fenomeno culturale generalizzato, che il termine *scienza* nella cultura moderna è ormai sinonimo di *scienza naturale* e di *scienza matematica* (o «logico–matematica» a partire dalla fine del secolo scorso). Tutto ciò è stato naturalmente favorito, per una sorta di suicidio intellettuale, anche dal fatto che la riflessione filosofica e metafisica in generale è andata progressivamente perdendo quel rigore dimostrativo che pure aveva nella classicità e nel medioevo, isterilendosi in una sorta di disciplina a metà strada fra la riflessione estetica e l'esercizio retorico. Un suicidio intellettuale che ha enormemente impoverito la cultura ed il pensiero moderni, privandolo di una sua componente essenziale. Nell'ambito universitario, filosofia della natura e metafisica a base naturalista di tipo scolastico sono così sopravvissute nella modernità quasi esclusivamente come discipline ausiliarie nei *curricula* di studio di facoltà teologiche cattoliche, non di rado ideologicamente e quindi sterilmente contrapposte alle discipline scientifiche moderne.

## 1.3 Filosofia hegeliana della natura

La filosofia della natura nel sistema hegeliano

La «filosofia della natura», come disciplina distinta dalle scienze naturali, nel vocabolario culturale «laico» dell'università moderna ha momentaneamente ripreso quota nella prima metà del secolo scorso con la meteora della filosofia hegeliana e con la sua visione del mondo «storicista»[12]. Mediante il *metodo storico–dialettico** d'indagine, la filosofia aveva, infatti, cercato di ritagliarsi di nuovo un ruolo e un proprio ambito di sopravvivenza nella cultura moderna, condizionata nel secolo scorso dall'avanzata dell'ideologia scientista, quella «positivista» in particolare. La crisi dell'idealismo storicista hegeliano come sistema metafisico onnicomprensivo e il suo decadimento a semplice filosofia politica, nelle due ideologie contrapposte della «destra» e della «sinistra» hegeliane, ha coinciso perciò con una nuova eclissi della filosofia della natura dall'ambito culturale moderno. Bisognerà attendere gli anni '30 del XX secolo per una rinascita della filosofia della natura su basi completamente diverse da quelle hegeliane (Cfr. § 3.2.2, pp. 208ss.).

La dissoluzione del sistema hegeliano e la nascita delle scienze dell'uomo

Dissoltasi come neve al sole la filosofia della natura hegeliana nella sua vana pretesa di porsi come alternativa ideologica, come «visione del mondo» contrapposta, alla scienza naturale galileiano–newtoniana e al suo metodo, lo stesso tentativo di far rinascere la filosofia come «scienza dello spirito» secondo il metodo storico–dialettico, è stato inesorabilmente fagocitato dal potere effettivo sul reale del *metodo operazionale**, sperimentale - matematico, tipico del modello galileiano di scienza naturale. In tal modo, la filosofia della storia hegeliana come assoluta «scienza dello spirito» si è frammentata in una molteplicità di discipline empiriche di ricerca, le cosiddette *Geisteswissenschaften,* che hanno per oggetto l'uomo, la sua storia e le sue attività. Sono progressivamente nate così la *psicologia*, la *sociologia*, l'*economia*, la *storiografia* e le discipline ad esse connesse, che hanno via via perduto, del ceppo hegeliano da cui nascevano, non solo il metodo storico–dialettico di indagine, ma anche la dizione, trasformandosi da altisonanti «scienze dello spirito» (*Geisteswissenscahften*) in molto più modeste ed effettive *scienze dell'uomo.*

---

[12] Ricordiamo come la *filosofia della natura* nell'*Enciclopedia* hegeliana delle scienze filosofiche costituisse il secondo momento, quello dell'«antitesi», del processo storico–dialettico di autocoscienza dello spirito assoluto. Il momento in cui l'«idea in sé», oggetto della *logica*, si «alienava», si «negava» nel «per sé» della natura materiale, regno dell'oscura e cieca necessità, per «riprendersi» nella «sintesi» delle varie forme naturali e storiche di vita dello *spirito*, «soggettivo», «oggettivo», fino all'autocoscienza piena dello spirito «assoluto». Tale momento sintetico costituisce il regno dell'«in sé e per sé» della libertà meta–individuale dello spirito, che si esprime nelle tre forme storiche successive dell'*arte*, della *religione* e infine della *filosofia*, come più alta e definitiva «scienza dello spirito». Scienza che, ovviamente, aveva nella filosofia hegeliana la sua massima espressione.

Le scienze dell'uomo e il modello galileiano di scienza

Infatti, dopo il fallimento dei tentativi dello storicismo tedesco ottocentesco post–hegeliano di dare alle *Geisteswissenschaften* un metodo rigoroso di indagine e di *formalizzazione** contrapposto a quello sperimentale–matematico o *metodo operazionale** delle scienze naturali (*Naturewissenschaften*), sempre di più il linguaggio matematico e strumenti sperimentali quantitativi di indagine sono venuti a caratterizzare anche le scienze dell'uomo. In tal maniera, esse, invece che essere sterilmente ed ideologicamente contrapposte alle scienze della natura, hanno finito per esercitare un prezioso e tutt'altro che esaurito stimolo per la revisione dei fondamenti del pensiero logico e matematico moderno che ha caratterizzato la fine dell'800 e tutta la prima metà del '900. I formalismi logico–matematici che erano stati sviluppati nella modernità per lo studio della *meccanica** sono risultati del tutto inadeguati al trattamento rigoroso di fenomeni *complessi*, sia nelle scienze fisiche, chimiche e biologiche (Cfr. *infra*, § 2.6, pp. 142ss.) che, a maggior ragione, in quelli di tipo psicologico, sociale ed economico, quali quelli oggetto delle scienze dell'uomo.

## 1.4 Radice dello scientismo illuminista

### 1.4.1 Apogeo del programma illuminista

Lo sviluppo e la sistematizzazione dell'analisi matematica

La parabola della meteora hegeliana si sviluppa di pari passo ad un approfondimento dei fondamenti della matematica moderna, forse nel momento del suo massimo splendore. Quello in cui attraverso l'opera di matematici del livello assoluto di un Giuseppe Luigi Lagrange (1736-1813), di un Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), di un Augustin Cauchy (1789-1857), la chiave dei successi della scienza moderna, il calcolo, e la sua rigorosa applicazione ai problemi della meccanica e della dinamica sembrava ricevere una sistematizzazione definitiva, mediante l'approfondimento e lo sviluppo della nozione di *funzione** all'interno di un quadro finalmente rigoroso della nuova disciplina dell'*analisi matematica**. Tale sviluppo culminerà, nella seconda metà del secolo XIX dopo la prima definizione rigorosa del concetto di *numero reale** ad opera di Richard Dedekind (1831-1916), nella definizione formale della nozione di *limite** ad opera del matematico tedesco Karl Theodor Wilhelm Weierstrass (1815-1897), all'interno di un approccio all'analisi matematica svincolato da ogni riferimento all'intuizione geometrica — come invece lo era agli inizi e particolarmente in Newton — e tendente alla sua completa aritmetizzazione (aritmetica dei numeri reali).

Dalla sistematizzazione dell'analisi alla crisi dei fondamenti

Ma proprio questo sviluppo della regina delle scienze nel «secolo dei lumi», l'*analisi matematica**, che mediante il suo completamento e la sua rigorosa formalizzazione doveva presagire al definitivo trionfo del «ri-

schiaramento illuminista» e del suo programma scientista, conteneva in sé i germi del disfacimento di tale programma. Esso fu innestato dalla successiva riflessione sui fondamenti dell'analisi e della sua aritmetizzazione per opera di Georg Cantor. Prima però di addentrarci in una sommaria ricostruzione dei punti di svolta principali della riflessione sui fondamenti della matematica e dei motivi teorici che spinsero ad essa (Cfr. § 1.5.2, pp.79ss.), soffermiamoci un attimo ad approfondire la radice teoretica del programma scientista dell'illuminismo.

### 1.4.2 Assolutizzazione dell'evidenza

La pretesa assoluta autoevidenza dei postulati della geometria euclidea e delle leggi della fisica newtoniana

La soluzione del problema della quadratura delle curve nella forma algebrica del moderno calcolo integrale e i successi della moderna fisica–matematica galileiano-newtoniana associati a queste straordinarie scoperte, rafforzarono la convinzione che i postulati della geometria euclidea, alla base delle rappresentazioni matematiche di quella fisica, fossero *veri*, ovvero adeguate rappresentazioni formali dello spazio fisico. Lungi però dal voler attribuire *verità* a questi postulati su una intuizione empirica, prova di essa sarebbe stata la loro assoluta *auto-evidenza*[13] analoga a quella, puramente formale, indipendente da qualsiasi contenuto empirico, alla base dell'algebra moderna e delle sue tautologie analitiche. Si basa su questa tacita convinzione tutto lo scientismo illuminista dei secoli XVIII–XIX. La pretesa cioè che la «nuova scienza» fisico–matematica, proprio perché basata sul *rigore assoluto* di deduzioni fondate su nozioni vere perché autoevidenti — gli assiomi di Euclide in geometria e le tre leggi della *dinamica** in fisica (sulla centralità dell'evidenza come criterio di verità di una fisica costruita sul modello della geometria, cfr. la citazione *dell'Ottica* di Newton riportata a p. 100) —, potesse sostituire la vecchia metafisica e la vecchia filosofia della natura, ridotte, insieme con la teologia, a rango di pure superstizioni.

Il determinismo meccanicista assoluto e «il demone di Laplace»

Meglio di qualsiasi commento, valgano questi due aneddoti, che, al di là di ogni commento, fotografano perfettamente lo spirito dello scientismo imperante in certi settori della cultura moderna alla fine del XVIII secolo. Il primo, più famoso, riguarda il dialogo fra il grande fisico e matematico Pierre Simon de Laplace (1749-1827) e Napoleone a proposito del commento di quest'ultimo alla monumentale opera di Laplace, il trattato *Le Systéme du Monde* (1797). All'osservazione di Napoleone che commentava sorpreso come in questo trattato di cosmologia mancasse qualsiasi riferimento a Dio, Laplace rispondeva sprezzante che «non aveva avuto

---

[13] Questa convinzione è, in particolare, alla base della dottrina cartesiana che identifica la nozione geometrica di estensione o *res extensa*, con la *materia fisica*, facendo anzi di questa presunta *autoevidenza* la seconda idea «chiara e distinta» o *autoevidente* del suo sistema.

bisogno di quest'ipotesi». Quest'affermazione era legata all'assioma di *determinismo assoluto* di tipo meccanicista nelle scienze della natura, divulgato come «principio del demone di Laplace», che trova la sua enunciazione più completa in un passo famoso dell'altro suo trattato di filosofia della natura: *Essai philosophique sur les probabilites:*

> Un'intelligenza che, per un istante dato, potesse conoscere tutte le forze da cui la natura è animata, e la situazione degli esseri che la compongono, e che inoltre fosse abbastanza grande da sottomettere questi dati all'*analisi*, abbraccerebbe nella stessa formula i movimenti dei più grandi corpi dell'universo e quelli dell'atomo più leggero: nulla le risulterebbe incerto, l'avvenire come il passato sarebbe presente ai suoi occhi. *Lo spirito umano offre, nella perfezione che ha saputo dare all'astronomia, una debole parvenza di questa intelligenza*[14].

In altre parole, se fosse possibile conoscere, con precisione incrementabile a piacere, al limite infinita, quale appunto ad un «demone» sarebbe possibile, le condizioni iniziali del moto (posizione e quantità di moto) di tutte le particelle che compongono l'universo fisico, dalle suddette condizioni iniziali, mediante il solo ausilio delle leggi della dinamica, sarebbe possibile conoscere (dedurre) con la medesima assoluta precisione l'evoluzione dell'intero universo. L'astronomia moderna, nella sistematizzazione offerta da Laplace stesso nel suo capolavoro *Mecanique Céleste* (1798-1825) sulla scorta delle leggi newtoniane della gravitazione, offre dunque per lo scienziato francese un'esemplificazione di quel paradigma di scienza assoluta della natura cui in questo brano si fa riferimento

L'esaltazione ideologica della nuova fisica come modello di sapere assoluto, sostitutivo della filosofia della natura

L'altro aneddoto — perché non può essere più di questo — consiste in un brano, riportato da E. Cassirer nella sua *Storia del pensiero moderno* (Cassirer 1978, v.II, t.2, p. 444), tratto dall'opera di uno sconosciuto divulgatore delle idee newtoniane, S. Emerson, nel suo *The Principles of mechanics*, pubblicato a Londra nel 1773. Questo brano, seppure meno famoso del precedente aneddoto, è esemplare dello stato di vera e propria esaltazione dionisiaca che in certi ambienti culturali provocava il mito della certezza assoluta delle nuove conquiste scientifiche[15]. Allo stesso tempo questo brano è esemplare della convinzione che la «nuova» scienza fisico–matematica newtoniana non fosse un'altra forma di sapere complementare alla metafisica e alla filosofia della natura, ma una nuova e defi-

---

[14] Citato in (Ruelle 1984, 16).

[15] Addirittura si arrivò ad affermare che Newton era il «nuovo Mosé». Come Mosé aveva donato all'umanità le certezze assolute dei dieci comandamenti in campo morale, così Newton aveva donato le certezze assolute delle tre leggi della dinamica in campo fisico. Questo era anche implicito nel famoso adagio kantiano «il cielo stellato sopra di me (con riferimento alla legge newtoniana della gravitazione universale, *N.d.R.*), la legge morale dentro di me», per significare le due sedi della certezza assoluta.

nitiva filosofia della natura, assolutamente incommensurabile con quelle che l'avevano preceduta e insuperabile da qualsiasi altra potesse seguirla.

> *La filosofia newtoniana, ossia l'unica vera filosofia che vi sia al mondo*, è ugualmente fondata sulla meccanica. (...) Alcuni hanno ignorantemente obbiettato che la filosofia newtoniana come tutte le altre che l' hanno preceduta, invecchierà e sarà superata da qualche nuovo sistema (...). Tale obbiezione è del tutto falsa. *Nessun filosofo prima di Newton infatti adoperò mai il suo sistema.* Mentre i sistemi filosofici non sono altro che ipotesi, opinioni, finzioni, congetture, fantasticherie, inventate a piacimento senza alcun appoggio nella natura delle cose, egli al contrario costituì da sé solo una base del tutto differente. Egli infatti non ammette se non ciò che ottiene *attraverso esperimenti ed osservazioni accurate*; quanto viene costruito poi in qualsiasi modo su questa base, *è dedotto secondo un rigoroso ragionamento matematico* (Corsivi nostri).

La filosofia kantiana come giustificazione epistemologica di questa convinzione e la critica della metafisica

Questa stessa convinzione secondo la quale, con l'estensione analitica della geometria euclidea, nella matematica, e con la meccanica newtoniana, in fisica, si era ormai arrivati ad un «nocciolo duro» di conoscenze *assolutamente certe*, che nulla avevano a che fare con le incertezze e le oscurità della vecchia metafisica e della vecchia filosofia della natura, è anche il punto di partenza dell'opera di Immanuel Kant (1724-1804). Questa convinzione costituisce, infatti, il fondamento della costruzione dell'edificio delle tre *Critiche*, ed in particolare della prima di esse: la *Critica della Ragion Pura*. Opera, questa, dedicata ad investigare quali siano le condizioni che rendono le scienze matematiche e fisiche «pure» (non applicate) dotate di quella necessità ed universalità *assolute*, considerate caratteristiche proprie della scienza autentica, che invece mancano a qualsiasi metafisica proposta nella storia del pensiero. Nell'*Introduzione* a quest'opera Kant, infatti, si domanda:

> *Com'è possibile una matematica pura? Com'è possibile una fisica pura?* Di queste scienze, poiché esse realmente ci sono, vien bene domandarsi *come* siano possibili, perché che debban essere possibili è provato dalla loro esistenza di fatto [In nota: Taluno potrebbe ancora dubitare che quest'esistenza l'abbia la fisica pura. Ma basta dare un'occhiata alle diverse proposizioni che s'incontrano all'inizio della fisica propriamente detta (empirica), come quelle della permanenza della stessa quantità di materia, dell'inerzia, dell'uguaglianza fra azione e reazione e così via, per convincersi che costituiscono una *physicam puram* (o *rationalem*), che merita bene di essere esposta separatamente, come scienza speciale, in tutta la sua estensione, piccola o grande che sia]. Per ciò che riguarda invece *la metafisica* il suo progresso è stato fin qui assai infelice, poiché di nessuna delle metafisiche fin qui esposte, per ciò che concerne il suo scopo essenziale, si può affermare che realmente

> esista, deve ad ognuno lasciar dubitare con ragione della sua possibilità (Kant 1787, 55).

La progressiva disfatta del mito scientista nei secoli XIX–XX

Quanto avverrà negli anni immediatamente seguenti nel santuario della certezza scientifica, la geometria euclidea, e quanto avverrà durante tutto il secolo XIX e nei primi trent'anni del XX nelle scienze matematiche e fisiche, provocherà un terremoto concettuale di tali proporzioni che ha distrutto l'edificio ritenuto incrollabile dell'assolutezza di queste certezze. Un terremoto le cui scosse di assestamento sono tutt'altro che terminate, anzi con le quali dovremo abituarci a convivere a lungo anche in questo inizio di terzo millennio.

## 1.5 Crisi dei fondamenti della matematica nel secolo XIX

### 1.5.1 Assiomatizzazione della matematica e verità

#### 1.5.1.1 Nascita delle geometrie non–euclidee

Il quinto postulato di Euclide e le sue varie formulazioni

La presunta autoevidenza e quindi la presunta «verità assoluta» dei cinque postulati euclidei era un'idea che, nell'antichità, aveva suscitato più di qualche perplessità nei filosofi e nei matematici. Fra i filosofi, innanzitutto, Aristotele rifiutava tale idea, perché autoevidenti erano per lui solo gli *assiomi*, ovvero i primi principi della metalogica e della metafisica, quali il p.d.n.c.. Fra i matematici, invece, a suscitare perplessità era in particolare il quinto postulato. Esso afferma: «date due rette, ed una terza intersecante le prime due, queste s'incontrano nella direzione in cui la somma degli angoli dell'intersezione è minore di due retti». In altri termini, date due rette parallele, esse non s'incontrano mai neanche *all'infinito*[16]. Un'altra formulazione equivalente del medesimo assioma, che ci risulterà utile fra poco, è la seguente: «per un punto esterno ad una retta passa *una ed una sola parallela* alla retta data».

[16] Infatti, la somma degli angoli adiacenti dell'intersezione di una qualsiasi secante due rette parallele in ciascuna delle due direzioni, è sempre equivalente a due angoli retti, qualsiasi delle due direzioni si prendano.

Difficoltà circa l'evidenza del quinto postulato e necessità di dimostrare la sua verità

L'idea che faceva difficoltà agli antichi era proprio il fatto che molte linee cosiddette «asintotiche» che al finito non s'incontrano, all'infinito invece s'incontrano (p.es., un'iperbole è asintotica ai suoi assi: Cfr. Figura 1-3)[17]. Poiché dunque il quinto postulato sembrava tutt'altro che «autoevidente», nacque in molti matematici, antichi e moderni, l'esigenza di *dimostrare la verità* di esso, deducendolo dagli altri quattro[18].

Il fallimento dei tentativi di dimostrazione del quinto postulato

Nell'età moderna, una serie di matematici di prim'ordine si dedicò al problema della dimostrazione del quinto postulato, tutti fallendo nel loro compito. Fra essi ricordiamo il gesuita italiano Girolamo Saccheri (1667-1733), lo svizzero tedesco Joan Heinrich Lambert (1728-1777) e il francese Adrien Marie Legendre (1752-1833). Il fallimento di questi tentativi di dimostrazione rafforzò nell'opinione pubblica degli scienziati del tempo la convinzione che anche il quinto postulato, nonostante le sue difficoltà, si dovesse prendere come assolutamente vero perché autoevidente. Con ciò veniva definitivamente confermato il principio cartesiano–kantiano dell'evidenza e distrutta nella modernità l'idea aristotelica e scolastica della differenza fra *assiomi* e *postulati*, fra i primi principi della metafisica e quelli delle diverse scienze, innanzitutto quelle matematiche e fisico–matematiche, che si confermavano così essere le nuove «scienze assolute» del «secolo dei lumi», in grado di rimpiazzare l'obsoleta metafisica scolastica. In ogni caso, considerazioni filosofiche a parte, la supposta autoevidenza dei postulati euclidei giustificava in pieno l'uso linguistico moderno di considerare la nozione di «assioma» del tutto equivalente a quella di «postulato».

I dubbi di Gauss sull'assolutezza della geometria euclidea

Quando dunque, intorno al 1820, il *princeps mathematicorum,* Friedrich Gauss (1777-1855), si convinse invece che l'indimostrabilità del quinto postulato — soprattutto alla luce del fallimento della dimostrazione per assurdo che ne aveva tentato Saccheri[19] — non era semplice questione di fatto, ma nascondeva la possibilità della coerenza di una geometria senza il quinto postulato — quindi la possibilità di «geometrie non-euclidee», come egli stesso per primo le definì — si guardò bene di divulgare questa notizia per l'impopolarità che gliene sarebbe derivata.

---

[17] Un testo che dimostrà, con un numero impressionante di prove documentali come la questione del quinto postulato e quindi delle geometrie euclidee e non-euclidee attraversi tutto il pensiero occidentale da Platone, Eudosso, Aristotele ed Euclide fino alla matematica moderna, è il libro di Imre Toth (Toth 1997), dedicato al commento di frammenti non–euclidei nel *corpus aristotelicum.*

[18] Essi sono: 1) per due punti distinti passa una sola retta; 2) Ogni segmento può essere prolungato indefinitamente; 3) Dati un centro e una distanza qualsiasi si può descrivere un cerchio; 4) Tutti gli angoli retti sono uguali fra di loro.

[19] Saccheri aveva cercato, senza riuscire, di dimostrare la verità del quinto postulato mediante la dimostrazione dell'assurdità della sua negazione.

Ma la dimostrazione era nell'aria o, se vogliamo usare una terminologia hegeliana, «nello spirito dei tempi».

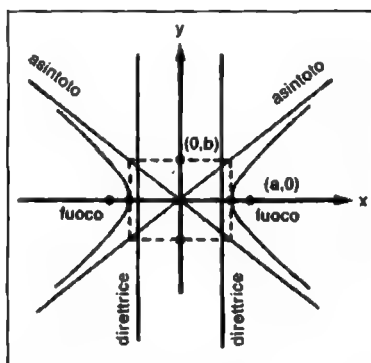



Figura 1-3. Iperbole nella forma canonica $x^2/a^2 - y^2/b^2 = 1$, ovvero curva piana che si definisce come luogo dei punti per i quali è costante la differenza delle distanze da due determinati punti definiti come i *fuochi* dell'iperbole. Si noterà dalla figura come i bracci dell'iperbole si sovrappongano solo all'infinito con i rispettivi asintoti. Solo all'infinito infatti la differenza delle distanze dai fuochi sarà uguale a zero.

Di lì a pochi anni, nel 1829, il matematico russo Nicolaj Ivanovic Lobacevskji (1793-1856) rettore dell'Università di Kazan, e, nel 1832, il giovane matematico ungherese Janos Bolyai (1802-1860) giunsero alla medesima conclusione di Gauss, pubblicandone, però, i risultati e cercando — inutilmente — l'appoggio pubblico di quest'ultimo.

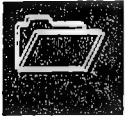
La fondamentale dimostrazione di Lobacevskji dell'impossibilità logica di dimostrare il quinto postulato

In particolare Lobacevskji dimostrò l'impossibilità di dimostrare il quinto postulato nella sua formulazione equivalente già ricordata (ovvero l'enunciato euclideo che per un punto fuori di una retta può passare una ed una sola parallela alla retta data). Su questa base egli costruì quella che definì una «geometria immaginaria», perché del tutto astratta dalla percezione comune, senza il quinto postulato. Una geometria che pure era perfettamente coerente: la prima geometria non–euclidea, di tipo iperbolico, mai proposta con successo nella storia dell'umanità.

La «geometria assoluta» di Bolyai

Bolyai, da parte sua, andò, se possibile, ancora più avanti dimostrando che non è contraddittorio ammettere che per un punto non solo passi più di una parallela, ma addirittura *infinite parallele* ad una retta data. In tal modo, costruì su questa base una geometria non-euclidea «assoluta» — «scienza assoluta dello spazio», la definì —, proprio perché in qualche modo basata su un'ipotesi più comprensiva di quella di Lobacevskji. Ma fu soltanto con Bernhard Riemann (1826-1866) che la rivoluzione con-

cettuale innestata dalle sconvolgenti scoperte dei tre succitati autori, raggiunse il suo culmine.

Il senso di questa rivoluzione concettuale.

Prima però d'illustrarla per quanto sommariamente, è bene fissare immediatamente una riflessione epistemologica fondamentale, che aiuti a rendersi conto di quanto qui era successo e del cambio epocale che queste scoperte hanno implicato. Così, per esempio, lo descrivono E. Nagel e J. R. Newman:

> La convinzione tradizionale che gli assiomi della geometria (o gli assiomi di qualunque sistema) possano essere provati dalla loro apparente autoevidenza, fu così radicalmente distrutta. Inoltre, poco alla volta risultò chiaro che il vero compito del matematico puro è quello *di derivare teoremi da ipotesi postulate*, senza che debba preoccuparsi come matematico di decidere se gli assiomi introdotti siano di fatto *veri* (Nagel & Newman 1993, 21).

La fine dell'illusione moderna di usare l'evidenza come criterio assoluto di verità

Tutta la pretesa della filosofia moderna dopo Descartes di sostituire come criterio di verità l'evidenza e/o l'auto-evidenza di alcune proposizioni a quello dell'adeguatezza all'essere, si dimostrava così infondata. Abbiamo già ricordato che questa convinzione era talmente radicata — e lo è tutt'ora, soprattutto in nazioni come l'Italia a così bassa divulgazione ed aggiornamento scientifico — che il massimo dei matematici moderni, Gauss, si proibì addirittura di parlare in pubblico di questa straordinaria scoperta, perché il suo buon nome non venisse intaccato. Come ricorda Boyer nella sua storia della matematica, «in diverse lettere ai suoi amici Gauss elogiò le ricerche di Lobacevskji, ma non volle mai riconoscerle nei suoi scritti per timore di suscitare le risa dei 'beoti' (*sic!*)». Così ancora si esprime Boyer:

> Lobacevskji viene considerato «il Copernico della geometria» come colui che ha rivoluzionato questo campo della matematica creando un'intera branca completamente nuova (...) mostrando *come la geometria euclidea non fosse quella scienza esatta depositaria di verità assolute quale era stata quella precedentemente considerata.* In un certo senso, possiamo affermare che la scoperta della geometria non-euclidea inferse un colpo mortale alla filosofia kantiana, paragonabile alle conseguenze che la scoperta delle grandezze incommensurabili ebbe per il pensiero pitagorico (Cfr. sopra § 1.1). L'opera di Lobacevskji rese necessario *modificare radicalmente le concezioni fondamentali circa la natura della matematica* (Boyer 1968, 621s. Corsivi nostri).

### 1.5.1.2 La formalizzazione di Riemann

L'assiomatizzazione della geometria dopo Riemann e il carattere puramente formale delle scienze matematiche

Quali fossero le conseguenze cui accennava Boyer divenne chiaro però solo dopo che Bernard Riemann, nella sua famosissima tesi di abilitazione, *Sulle ipotesi che stanno alla base della geometria*, discussa a Gottinga dinanzi a Gauss nel 1854, ampliò il senso di «geometria non–euclidea» ben al di là della geometria iperbolica di Lobacevskji e Bolyai, costruendo una nuova geometria ellittica, basata su un nuovo postulato delle parallele. Nella sua geometria *nessuna* parallela può essere tracciata per un punto esterno alla retta data. Ma non è qui o, meglio, non è soltanto qui la rilevanza della sua scoperta. Con Riemann la geometria (e quindi tutto il resto della matematica) viene completamente *assiomatizzata*. Non solo i postulati di qualsiasi scienza non vanno presi *mai* come verità assolute, bensì solo come *ipotesi*, ma — almeno in branche delle scienza come la matematica «pura» — è lo stesso contenuto descrittivo dei primitivi e degli assiomi — e quindi dell'intero sistema assiomatico da essi derivato — a dover essere abbandonato. Con Riemann la scienza matematica abbandona, per la prima volta nella storia del pensiero, ogni contenuto denotativo di oggetti — i cosiddetti «enti matematici» cari alla tradizione pitagorico–platonica —, per divenire pura scienza di *relazioni sintattiche fra simboli* del linguaggio matematico.

La formalizzazione della geometria e la fine della matematica come «scienza della quantità»

In altre parole, malgrado il carattere paradossale di certe conclusioni, non si tratta più di parlare in geometria di «spazi», «rette», «figure» o «punti» nel senso della nostra esperienza ordinaria. La geometria dopo Riemann, propriamente, ha a che fare solo con «ennuple (relazioni fra simboli, come coppie, triple, etc. *N.d.R.*) che vengono raggruppate secondo precise regole».

La matematica cessa insomma di essere «la scienza della quantità», com'era stata per oltre duemila anni, per divenire «scienza di relazioni», la scienza formale per eccellenza che trae le sue conclusioni logicamente implicite in un qualsiasi insieme coerente di assiomi. Questo punto va ben compreso perché essenziale a comprendere quel processo di *formalizzazione* dei linguaggi scientifici che è tipico della scienza contemporanea.

I passi della progressiva formalizzazione della matematica

Nella scienza matematica greca la geometria, intesa come scienza matematica dello spazio, aveva come oggetto esclusivamente figure spaziali accessibili all'intuizione. Per questo, p.es., non si andava oltre lo spazio piano a tre dimensioni. Il primo passo verso la formalizzazione fu fatto fare alla geometria moderna attraverso l'algebrizzazione della geometria, in particolare quando, a partire da Descartes, divenne evidente la corrispondenza che esiste fra *geometria** ed *algebra**. Dopo la pubblicazione della sua *Géometrie*, divenne definitivamente patrimonio del pensiero ma-

tematico la nozione che ogni figura geometrica rappresenta in forma spazializzata la soluzione della relativa equazione algebrica (polinomio). Senza l'algebrizzazione della geometria sarebbe stata impossibile la nascita dell'analisi matematica e del calcolo infinitesimale.

Il primo passo: l'algebrizzazione cartesiana della geometria

In particolare, grazie al simbolismo sviluppato da Descartes per le espressioni algebriche — l'uso dei segni «+» e «–», delle prime lettere dell'alfabeto per indicare le costanti, delle ultime per indicare le variabili e, soprattutto, della notazione esponenziale per indicare le potenze — la geometria poté superare quei limiti che il legame troppo stretto con l'intuizione spaziale le imponeva. Prendiamo, per esempio, il calcolo del quadrato del binomio:

$$(a+b)^2$$

Geometria analitica e geometria intuitiva: il caso tipico del quadrato del binomio

Ognuno di noi ha imparato fin dalle scuole medie a calcolarlo con un semplice *algoritmo** che consente di ottenere il polinomio risultante, attraverso una sequenza di semplici operazioni e senza alcun riferimento alla costruzione geometrica associata. Innanzi tutto, si scrivono *le variabili*, associandovi gli esponenti in senso crescente e decrescente:

$$_a^2 + _ab + _b^2$$

I posti vuoti dei *coefficienti* si ottengono, per la seconda potenza del binomio, dalla seconda riga del cosiddetto «triangolo di Tartaglia» (o di Pascal), a sua volta ottenuto attraverso un altro semplice *algoritmo**:

1
1 1
1 2 1
1 3 3 1
1 4 6 4 1
1 5 10 10 5 1
1 6 15 20 15 6 1

Di solito però non si parla mai di qual'è la costruzione geometrica associata al calcolo algebrico del quadrato del binomio $(a+b)^2$ — costruzione, che fra l'altro può essere definita come un *modello geometrico* di questo calcolo che lo rende *evidentemente* vero. La costruzione associata è quella di un quadrato come risultato della somma di due quadrati più piccoli, rispettivamente di lato $a$ e $b$, con due rettangoli di lati $a \cdot b$.

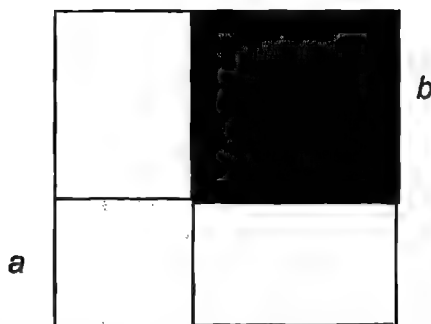



Figura 1-4. Equivalente geometrico–intuitivo del calcolo del quadrato del binomio

Le potenzialità del metodo algebrico in geometria analitica ed i limiti del metodo intuitivo nella geometria classica

Ora, con lo stesso algoritmo si può facilmente calcolare la, terza, quarta, la quinta, …, l'*n*–sima potenza di un binomio — e con una regola simile definita da Newton, di un qualsiasi polinomio. P.es.,

$$(a+b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$$
$$(a+b)^4 = a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4$$
$$(a+b)^5 = a^5 + 5a^4b + 10a^3b^2 + 10a^2b^3 + 5ab^4 + b^5$$

Invece, mediante il metodo intuitivo di tipo classico non si potrebbe andare oltre il cubo del binomio: è impossibile, infatti, immaginarsi uno spazio a più di tre dimensioni. Grazie dunque all'algebrizzazione della geometria è stato possibile estendere la geometria euclidea a spazi piani non solo a tre dimensioni, ma a *n*–dimensioni.

Più in generale, infatti, grazie all'algebrizzazione cartesiana della geometria siamo in grado di trasformare i postulati di Euclide della geometria piana in altrettanti espressioni algebriche. Il «punto» corrisponderà ad una coppia di numeri; la «linea» ad una relazione (lineare) fra numeri espressa da un'equazione di primo grado a due incognite; la «circonferenza» ad una relazione fra numeri espressa da un'equazione di secondo grado di una certa forma, etc.

Il secondo passo: la formalizzazione riemaniana della geometria

La geometria riemaniana introduce un ulteriore livello d'astrazione dai contenuti intuitivi. Le espressioni algebriche dell'algebra elementare sono pur sempre riferite a grandezze (numeriche e/o spaziali) che esse denotano in forma simbolica. Dopo Riemann le espressioni algebriche usate nella sua geometria sono costruite in modo che esse non denotano alcunché, sono espressioni senza significato (referenziale), ma che possono assumere diversi significati (referenziali) attraverso un'appropriata

*interpretazione**. Con Riemann la geometria diviene un *sistema formale** nel senso proprio, moderno del termine. In altri termini, la geometria si trasforma in scienza deduttiva in grado di rappresentare astrattamente, col suo formalismo simbolico, non più relazioni fra grandezze, ma *relazioni* e *strutture**. Esse possono essere applicate, mediante successive interpretazioni, a molteplici tipi di entità, ma in se stesse sono prive di qualsiasi contenuto denotativo, di qualsiasi significato referenziale, di qualsiasi riferimento ad oggetto.

> Di fatto si riconobbe che la validità della deduzione matematica non dipende in alcuna maniera dal particolare significato che può essere associato ai termini o alle espressioni contenute nei postulati. Si vide così che la matematica è molto più astratta e formale di quanto non si supponesse tradizionalmente: più astratta perché, in linea di principio *si possono fare affermazioni matematiche su cose assolutamente qualsiasi, anziché su insiemi intrinsecamente circoscritti di oggetti o di proprietà di oggetti* (le proprietà quantitative, *N.d.R.*), perché la validità delle dimostrazioni matematiche *riposa sulla struttura delle affermazioni, piuttosto che sulla natura particolare del loro contenuto.* (...) Ripetiamo che l'unica questione riguardante il matematico puro (in quanto distinto dallo scienziato che usa la matematica per studiare un oggetto particolare) non è se i postulati che egli ammette o le conclusioni che egli trae dai primi sono veri, ma se le conclusioni avanzate siano, di fatto, *le conclusioni logiche necessarie* delle ipotesi da cui è partito (...). Fintantoché abbiamo a che fare col compito essenzialmente matematico di esplorare le relazioni puramente logiche di dipendenza tra le varie affermazioni, i significati familiari dei termini primitivi (i termini con cui sono costruiti i postulati di partenza, *N.d.R.*) devono essere ignorati e gli unici «significati» associati ad essi sono quelli assegnati dagli assiomi in cui entrano. Questo è il significato del famoso epigramma di Russell: la matematica pura è quella scienza in cui non sappiamo di cosa stiamo parlando o se ciò che stiamo dicendo è vero (Nagel & Newman 1993, 23s.).

La matematica come scienza puramente formale e la sostituzione della *coerenza* alla *verità* come criterio di validità degli asserti matematici

Ha ben ragione dunque Strumia, attento come noi a cogliere le differenze e le relazioni fra scienza moderna e metafisica classica, ad affermare che in tal modo la matematica raggiunge il suo punto di distanza maggiore dalla metafisica, ben oltre quello che già i Greci avevano intuito. Essa non ha più a che fare con la *verità*, ma semplicemente con la *coerenza* degli asserti e quindi con la *consistenza** del *sistema formale** cui essi appartengono. In tal modo la matematica viene sempre più ad assomigliare alla *logica formale*, l'unica scienza che nella classicità ha a che fare non con il contenuto degli asserti, bensì con la *forma* di essi e dei ragionamenti e/o degli argomenti ad essi associati. Ovvero, degli argomenti costruiti a par-

tire da tali asserti, se essi fungono da premesse di un ragionamento, o costruiti per arrivare ad essi, se sono conclusioni di un ragionamento.

Formalizzazione della matematica e nascita della logica matematica

Non è dunque casuale che la *logica matematica* come pura *logica simbolica* che si interessa della correttezza formale dei linguaggi (coerenza, consistenza) e non del loro contenuto veritativo, malgrado preconizzata da Leibniz, si sia sviluppata solo dopo l'assiomatizzazione delle matematiche, alla fine del XIX secolo ad opera di G. Frege. Un'assiomatizzazione cominciata da Riemann con la sua assiomatizzazione della geometria a metà del XIX secolo, e proseguita dal matematico italiano Giuseppe Peano (1858-1932) con un'analoga assiomatizzazione dell'aritmetica alla fine del XIX secolo[20].

Come accertare la coerenza degli asserti senza poterne accertarne prima la verità?

Ciò però poneva un problema di non facile soluzione. Come poter rendere conto con assoluta certezza della *coerenza* e quindi della *reciproca compatibilità* fra le affermazioni di una geometria come quella non-euclidea, assolutamente contro–intuitiva, se non c'è alcun mezzo di rendere conto della verità di certe affermazioni? Nella vecchia geometria euclidea il modo era semplice: dato che ci si poteva basare sull'evidenza intuitiva per giudicare della *verità* di certe affermazioni, siccome si supponeva che asserti veri fossero tra loro sempre compatibili[21], dalla verità evidente di essi si deduceva la loro reciproca compatibilità e quindi la *consistenza* del sistema. Questa strada non era però conciliabile con l'astrattezza contro-intuitiva della nuova geometria.

La soluzione di Riemann: creare un modello euclideo della sua geometria: la geometria dello spazio curvo

La soluzione trovata da Riemann, sebbene parziale dal punto di vista teoretico, logico–formale, perché apre la via all'uso di *metodi non–finitari* di dimostrazione della verità e della coerenza dei *sistemi formali*, tuttavia ha avuto il gran merito di rendere la geometria non–euclidea accessibile anche all'intuizione, facendola uscire dall'aria rarefatta del formalismo pu-

---

[20] Il sistema di Peano, che costituisce il primo esempio di una teoria matematica completamente assiomatizzata ed espressa esclusivamente nel linguaggio simbolico della nuova logica matematica, fu pubblicato per la prima volta nel 1889 negli *Arithmetices principia nova methodo exposita*. Il sistema formale proposto da Peano prendeva come *primitivi* i termini di «zero», «numero intero», «relazione di successione». Questi primitivi soddisfacevano (assumevano un «significato» puramente sintattico per) i seguenti cinque assiomi: 1) Zero è un numero; 2) Se *n* è un numero, allora il successore di *n* è un numero; 3) Zero non è il successore di nessun numero; 4) Due numeri i cui successori sono uguali, sono essi stessi uguali; 5) Ogni proprietà di cui gode lo zero e il successore immediato di ogni numero che gode della proprietà data, appartiene a tutti i numeri (assioma di induzione matematica). L'aritmetica ordinaria costituisce un *modello** di questo *sistema formale* che lo rende *vero* per quella particolare applicazione. Inversamente, il sistema formale di Peano costituisce un assiomatizzazione dell'aritmetica ordinaria, anche se oggi, dopo Gödel, sappiamo trattarsi di un'assiomatizzazione *incompleta*.

[21] Oggi però, dopo Gödel, anche affermazioni di questo tipo non sono per nulla scontate, anzi tutt'altro. Vi torneremo.

ro, accessibile a pochi eletti. Più tecnicamente, Riemann ha proposto un *modello* euclideo* della sua geometria non-euclidea ellittica — interpretazione estesa dal matematico italiano Eugenio Beltrami (1835-1900) anche alla geometria iperbolica di Lobacevskji — come *geometria dello spazio curvo*. Un modello in grado di dare un significato parziale ma intuitivo agli asserti del sistema formale considerato (in questo caso dei diversi sistemi formali considerati) e quindi in grado di rendere evidente anche la *coerenza* degli asserti paradossali, apparentemente assurdi, o controintuitivi di quel sistema[22]. In questo modello euclideo viene data un'*interpretazione** di «piano» come superficie di una sfera e di «retta» come *cerchio massimo** di una sfera. In tal modo, si riportava la «coerenza» della geometria non–euclidea alla verità di quella euclidea e quindi alla supposta coerenza dei postulati di quella. Una soluzione che, ripetiamo, dopo Gödel, è molto discutibile, ma che ottiene un risultato non piccolo: quello di rendere intuitivamente «evidente» e fruibile anche dai non-matematici l'astrattezza delle geometrie non–euclidee. In tale modello, infatti la geometria ellittica di Riemann viene a corrispondere ad una geometria descritta sulla superficie a curvatura positiva della sfera euclidea, mentre la geometria iperbolica di Lobacevskji a quella descritta sulla superficie a curvatura negativa della (pseudo-)sfera euclidea.

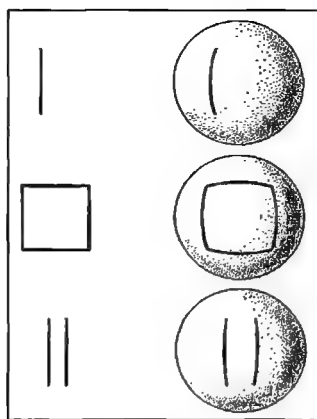



Figura 1-5. Due punti sul piano di Riemann (a sinistra) divengono due punti sulla sfera di Euclide (a destra); due rette parallele divengono due cerchi mas-

[22] Questo metodo di dimostrazione di coerenza, per quanto formalmente parziale perché fondato su condizioni logicamente molto pesanti quali l'uso di metodi infinitari di dimostrazione, pur tuttavia ha una sua corrispondenza nella logica del linguaggio comune. Per rendere evidenti ragionamenti astratti è essenziale fare degli esempi. Immediatamente s'intuisce che il principio può valere per un numero indefinito (potenzialmente infinito) di casi analoghi, ovvero che formalmente posseggono la medesima *struttura**.

simi; due segmenti paralleli divengono due archi di *cerchio massimo**. Essi evidentemente, se prolungati, s'incontrano, contariamente all'assioma delle parallele della geometria euclidea.

Carattere intuitivo del modello euclideo della geometria di Riemann e della geometria di Lobacevskji

In questo modo alcuni asserti paradossali delle geometrie non-euclidee diventano immediatamente evidenti. L'asserto della geometria riemaniana che per un punto esterno ad una retta non può essere disegnata alcuna parallela alla retta data diviene immediatamente evidente, non appena si consideri che due segmenti paralleli sul piano di Riemann corrispondono a due archi di cerchio massimo di una sfera di Euclide. Essi, prolungati, evidentemente s'incontrano, contro l'assioma euclideo delle parallele (Cfr. Figura 1-5).

L'esempio della somma degli angoli interni del triangolo in Euclide, Riemann e Lobacevskji

Ugualmente l'asserto che la somma degli angoli interni di un triangolo è maggiore di 180° nella geometria ellittica di Riemann, o minore di 180° nella geometria iperbolica di Lobacevskji, diviene immediatamente evidente non appena essi vengano descritti invece che sul piano di Riemann o di Lobacevskji sulla superficie, rispettivamente a curvatura positiva e negativa della sfera di Euclide (Cfr. Figura 1-6).

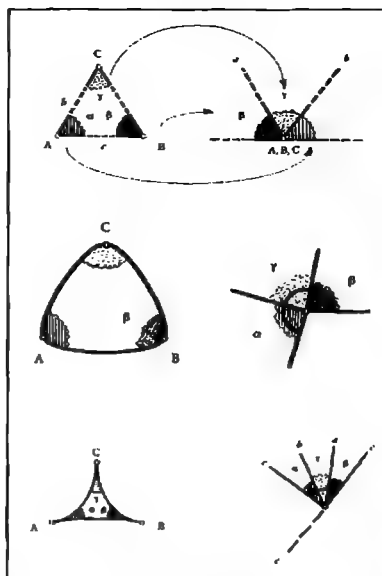



Figura 1-6. Descrizione intuitiva dei triangoli rispettivamente: sullo spazio piano euclideo (sopra), sullo spazio ellittico riemaniano (centro), sullo spazio iperbolico lobacevskjiano (sotto). Come si vede dalle proiezioni a fianco di ciascuna figura dei tre angoli costruiti sovrapponendo i lati contigui dei triangoli originali, nel primo caso la somma degli angoli interni è uguale a due retti (180°), nel secondo caso è maggiore di due retti, nel terzo è minore.

## 1.5.2 Scoperta delle antinomie

### 1.5.2.1 Antinomie nella teoria di Cantor

I limiti della dimostrazione indiretta mediante modelli della coerenza di un sistema formale

Già abbiamo accennato ai limiti della dimostrazione *indiretta* di coerenza delle geometrie non-euclidee mediante la costruzione di un modello euclideo di esse, come quella dello spazio curvo. Tale dimostrazione consiste infatti nel ridurre il problema della coerenza delle geometrie non–euclidee a quello della verità intuitiva (evidente) della geometria euclidea e quindi alla supposta coerenza della stessa.

D'altra parte, si potrebbe tentare una dimostrazione *diretta* della coerenza della geometria non-euclidea mediante tale modello, profittando della sua evidenza. Sfortunatamente, però, quando si ha a che fare, come nel nostro caso, con modelli infiniti e non finiti di un determinato sistema formale, il criterio di evidenza, ovvero il principio cartesiano delle «idee chiare e distinte», è soggetto a terribili errori e contraddizioni — le cosiddette *antinomie logiche*. Esse emergono non appena si cerca di analizzare con *metodi costruttivi** la consistenza di siffatte teorie formali. Non appena, cioè, con gli asserti delle teorie matematiche, non ci si limita ad affermare semplicemente l'esistenza di certe entità, basandosi sulla supposta evidenza delle rispettive nozioni, ma si cerca sempre di definire, dimostrare o calcolare l'entità matematica supposta esistente, a partire da entità e/o operazioni più semplici.

Il problema dell'infinito nelle matematiche

Il problema è che, come sapevano bene gli antichi, ma i moderni hanno dovuto re-imparare a loro spese, gli oggetti infiniti — soprattutto quelli «troppo infiniti» come sono necessari in una teoria sui fondamenti di una scienza con pretesa di *onnicomprensività*[23] rispetto al proprio oggetto e di *autonomia* assoluta rispetto ad altre forme di linguaggio e conoscenza —, sono inconciliabili con l'uso di metodi costruttivi. È ridicolo pensare di costruire «pezzo a pezzo» un oggetto infinito[24]. D'altra parte, a

---

[23] Tecnicamente, sono «troppo infiniti» gli insiemi con cardinalità paragonabile a quella di *V*, «la collezione universale» di tutti gli oggetti di un determinato universo di discorso. In pratica, ciò che oggi abbiamo imparato dopo i fallimenti di Cantor e di Russell, è che per una scienza, il rigore di un formalismo spinto, quale solo un approccio costruttivo può garantire, può essere usato solo con un sottoinsieme degli oggetti propri di quella scienza. Ovvero limitando la dimensione degli insiemi costruibili, degli insiemi cioè la cui esistenza può essere dimostrata, e non solo supposta mediante un apposito assioma (Cfr. Hallett 1984).

[24] Così si è espresso P. J. Cohen nell'Introduzione al suo libro su *L'ipotesi del continuo* che, a tutt'oggi, costituisce l'ultimo capitolo finora scritto nella moderna teoria dei fondamenti della matematica (Cohen 1966). Nei termini della scolastica aristotelica, è assurdo pensare di far passare completamente «in atto» un infinito «in potenza». Il che non significa affatto che per tale filosofia è assurda la nozione di «infinito attuale» *tout-court* così che tale nozione possa essere usata solo dalla teologia e da una «teologia negativa», di tipo mistico e non razionale. La dottrina dell'infinità attuale della scolastica è molto più ricca di queste

giudizio di tutti coloro che cercano di usare la matematica per risolvere problemi e non la contemplano soltanto, i metodi costruttivi, purché sviluppati su base *finitaria*, sono gli unici metodi che consentono di affrontare e risolvere problemi specifici, e non riducono la matematica (e la logica) pure ad un astratto esercizio intellettuale, fine a se stesso e perciò oggi — e giustamente — sempre meno praticato dai giovani.

Una scienza puramente astratta è affascinante certo, ma, dopo la scoperte delle antinomie, è costretta, proprio non cadere in contraddizioni e per l'impossibilità di utilizzare metodi costruttivi, ad affermazioni di tipo *generico*. Esse risultano spesso, non solo e non tanto incomprensibili per chi non è cultore di quella disciplina, ma quasi sempre sono prive di ogni applicabilità.

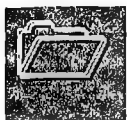
Il rischio è la barbarie scientifica: separazione della scienza applicata da quella teorica e asservimento della prima alla tecnologia

Il risultato è la crescita della *barbarie scientifica*. Sempre di meno sono i cultori della matematica teorica e delle discipline teoriche in generale a «fare cultura», e sempre di più lo sono «i faccendieri scientifici» che creano modelli *ad hoc* per risolvere singoli problemi, senza garanzia alcuna di verità e coerenza di ciò che propongono. Ma soprattutto senza garanzia alcuna di controllo da parte del resto della comunità che ciò che essi propongono come «soluzione scientifica» di un certo problema, non risponda soltanto a pure logiche di strumentalizzazione tecnologica (Cfr. la soluzione di questo problema nella nozione di sistema logico «aperto» in (Cellucci 1998) e *infra* § 3.1.5, pp. 197ss.).

Il tentativo di Cantor di un'analisi costruttiva dei fondamenti della matematica e il pregiudizio infinitista si cui era vittima

Tornando al nostro *excursus* storico, la questione dei fondamenti della matematica s'impose con urgenza a partire dalla seconda metà del secolo scorso, proprio per la straordinarietà delle scoperte fatte, che sconvolgevano certezze sedimentate in millenni e delle quali noi abbiamo accennato solo alla più sconvolgente. Fu il matematico tedesco Georg Cantor (1845-1918) il primo che cercò, con grande onestà intellettuale, di affrontare con *metodo costruttivo* il problema di una ri–fondazione della matematica dopo i terremoti intellettuali dei primi cinquant'anni del secolo XIX. E lo fece «prendendo il toro per le corna», affrontando direttamente il problema dell'*infinità attuale* che, secondo un classico pregiudizio moderno legato ad un'interpretazione realista, platonica, del calcolo infinitesimale, sembrava indispensabile per poter garantire quella consistenza *assoluta* delle teorie matematiche — ed in particolare della «regina» della matematica moderna: l'analisi, nella sua forma aritmetizzata dovuta a Dedekind e Weierstrass. Un pregiudizio, questo dell'interpretazione

semplificazioni. Ed anche se essa non può vantare il rigore e la ricchezza di nozioni e di metodologie che oggi, dopo Cantor, possiamo avere nell'affrontare il problema, è certo che i risultati cui siamo giunti non contraddicono quelli della scolastica. Torneremo in § 5.5.5, pp. 376ss., su questo punto.

realista degli infinitesimi, che, solo lo sviluppo nel XX secolo di una matematica *intuizionista* (Brouwer 1908; 1954) e di un'analisi *non-standard* (Robinson 1974) del tutto equivalenti a quelle classiche (Gödel 1933), contribuì a rimuovere dimostrandone tutta l'infondatezza (Nelson 2002). Ecco come Cantor stesso impostava il problema:

> Non vi è dubbio che noi non possiamo fare a meno di quantità *variabili* nel senso dell'infinito potenziale; e da questo può essere dimostrata la necessità dell'infinito attuale. Affinché vi sia una quantità variabile in una teoria matematica, il «dominio» della sua variabilità dev'essere strettamente parlando conosciuto in anticipo attraverso una definizione. Comunque, questo dominio non deve essere a sua volta qualcosa di variabile, altrimenti qualsiasi base fondata per lo studio della matematica verrebbe meno. Quindi questo dominio è un insieme di valori definito, attualmente infinito (Cantor 1886, 9).

La scoperta di Cantor delle antinomie, nel suo tentativo di formulare una teoria esclusivamente costruttiva degli insiemi.

Cantor affrontò il suo compito costruttivo con una nozione eccezionalmente semplice, quanto comprensiva per tutte le diverse scienze matematiche che era la sua definizione di *insieme*[25]. Se infatti non si poteva più considerare come autoevidenti le nozioni fondamentali della matematica (p.es., i concetti di numero, di figura, di funzione...) la strada era quella di dimostrarli a partire da una nozione molto più semplice, quella appunto di "insieme". Intuitivamente, infatti, come suggerito già da Weierstrass, un numero può essere definito come insieme di unità, una figura geometrica come insieme di punti, una funzione come relazione fra insiemi ordinati... Ora, sebbene la teoria di Cantor risultò eccezionalmente feconda per numerose scoperte sui fondamenti della matematica ed in particolare sulla nozione d'infinito, essa si scontrò, inevitabilmente, con insanabili antinomie. E ciò accadde quando cercò di fondare costruttivamente oggetti «troppo infiniti», la cui cardinalità cioè approssima quella della collezione universale $V$, come quelli d'*insieme universale* (nella fondazione di insiemi infiniti, onnicomprensivi, basati sui numeri cardinali) o quella di *insieme massimale* (nella fondazione di insiemi infiniti, onnicomprensivi, basati su numeri ordinali).

### 1.5.2.2 Antinomia di Russell

La scoperta dell'antinomia di Russell come antinomia logica

Di ben maggiore risonanza culturale fu la scoperta ad opera di Bertrand Russell (1872-1970) nel 1902 dell'antinomia che porta il suo nome. La maggior risonanza è legata al fatto che tale antinomia — sebbene so-

[25] Non è qui il luogo per approfondire la teoria cantoriana degli insiemi. Rimando a una trattazione più approfondita in (Basti & Perrone 1996) e, soprattutto (Hallett 1984).

stanzialmente equivalente a quella di Cantor — fu scoperta nell'ambito del tentativo di G. Frege di una fondazione *logicista* della matematica.

Risonanza della scoperta:

La risonanza culturale che l'antinomia di Russell ebbe ha due motivazioni, l'una contingente, l'altra sostanziale:

1. Per la rilevanza dei personaggi coinvolti.

- La prima, contingente, è legata alla fama dei personaggi coinvolti. Frege, perché era il matematico e il filosofo della matematica più famoso del suo tempo, la fine del XIX secolo, e Russell perché lo sarebbe diventato di lì a poco, all'inizio del XX secolo, dopo la pubblicazione, fra il 1900 e il 1910, della monumentale opera, i *Principia Mathematica,* scritta in collaborazione con Alfred North Whitehead (1861-1947). In tale opera, Russell non solo presenterà al grande pubblico dei matematici la sua antinomia, ma anche la soluzione da lui proposta, ovvero *la teoria dei tipi logici ramificata* che non è esente da problemi formali molto pesanti[26].

2. Per la dimostrazione che il problema delle antinomie era logico-sintattico e non solo logico-semantico come si era creduto per millenni

- Perché l'antinomia scoperta, era di tipo *logico-sintattico.* Innanzi tutto, non era di tipo di tipo esclusivamente *matematico,* come sembravano essere le antinomie della teoria degli insiemi di Cantor. Invece, riguardando classi e predicati, era antinomia di tipo *logico,* includendo quindi predicati e classi di oggetti matematici come caso particolare. Poi, tale antinomia seppur logica, era di tipo *logico-sintattico* e non *logico-semantico,* come lo erano invece le varie antinomie logiche già conosciute da millenni nella storia della logica, a cominciare dalla famosa «antinomia del mentitore». L'approccio formalista appena nato — la rinuncia cioè alla verità in nome della pura coerenza, proprio per dare rigore alla scienza evitando ogni riferimento a contenuti —, si dimostrava insomma altrettanto debole e capace di

[26] Data l'impraticabilità della soluzione russelliana, molto più praticabile è risultata essere la *teoria dei tipi logici semplice* proposta da Frank Plumpton Ramsey (1903-1930) nel 1926. Tale teoria distingue i vari tipi logici mediante opportuni *termini primitivi.* In tal modo può evitare di far riferimento a logiche di ordine superiore con predicati che hanno per argomento una totalità infinita di predicati di ordine logico inferiore, la cui esistenza è giustificata mediante l'assai discutibile «assioma di riducibilità» nella teoria di Russell. La soluzione di Ramsey, tuttavia, non è senza problemi perché, «moltiplicando entità», costringe poi a delle analisi molto pesanti di consistenza del sistema formale risultante. In ogni caso, resta assodato il principio della *teoria generale dei tipi* e cioè: per evitare antinomie, occorre che le proposizioni di un certo linguaggio formale siano costruite con predicati che, quando hanno per argomento delle totalità di elementi (p.es., predicati con variabili legate da un quantificatore universale: «per tutti»), questi elementi appartengano a un tipo logico inferiore. Ovvero, non sono ammissibili collezioni che contengono elementi che possono essere definiti come esistenti solo supponendo la totalità della collezione stessa (principio del circolo vizioso in definizioni impredicative). Una totalità infinita di elementi può essere definita come tale solo «dal di fuori» della totalità stessa.

generare inconsistenze, come l'approccio che pretendeva di sostituire[27].

Sarcasticamente, il grande matematico francese Henri Poincaré, fiero oppositore del formalismo e fondatore della scuola «intuizionista» nei fondamenti della matematica, commenterà così l'annuncio della scoperta dell'antinomia di Russell: «il formalismo finalmente si è dimostrato fecondo: ha generato le antinomie».

Il carattere logico–sintattico dell'antinomia

Ma in cosa consiste l'antinomia di Russell e il suo carattere logico-sintattico che la rende così temibile? Il problema che essa ha svelato — mostrando, ripeto, l'estrema utilità del metodo formale come metodo per favorire rigore e trasparenza alle dimostrazioni contro i tranelli dell'evidenza — si può sintetizzare come segue. Esamineremo prima il *carattere logico* e non solo matematico dell'antinomia, poi, all'interno di questo, il suo carattere *sintattico* e non solo semantico.

*Il carattere logico e non solo matematico dell'antinomia.*

Il carattere logico dell'antinomia e la sua confutazione del tentativo *logicista* di Frege di fondazione della matematica

Come ricordato, l'antinomia di Russell bloccò il tentativo *logicista* di fondazione della matematica da parte di Frege, ovvero, la sua idea di dimostrare la sostanziale *equivalenza** fra logica e la matematica, fondando questa su quella[28]. A tale scopo, fra l'altro, Frege si dedicò alla costruzione rigorosa di una *logica matematica* o *logica simbolica*, tentativo portato avanti con successo, sebbene il simbolismo che egli usò era troppo astruso e, nell'uso dei matematici del XX secolo, prevalse il simbolismo molto più intuitivo di Peano e di Russell, reso famoso dai *Principia*. In ogni caso, la completa simbolizzazione della logica formale classica fu la realizzazione per la quale Frege si è conquistato un posto imperituro nella storia della logica, della matematica e della filosofia.

Carattere *costruttivo* della teoria degli insiemi di Cantor

Ora Russell, con la sua scoperta dell'antinomia nella teoria delle classi di Frege, inferse un colpo mortale, non solo alla teoria logicista dei fondamenti, ma anche alla psicologia del grande matematico tedesco[29]. In sin-

---

[27] Ciò non vuol dire che si nega il progresso che la formalizzazione moderna della scienza matematica implica. L'importante però è non credere che questo progresso consista nella definizione di un metodo per proporre teorie infallibili, come avrebbe voluto l'ideologia scientista. Va invece nella direzione di proporre una metodologia che non «nasconde i propri errori» sotto un cumulo di parole, ma li rende palesi. Il formalismo aiuta la trasparenza e l'onestà intellettuale, non garantisce l'infallibilità..

[28] Per questa sua idea, Frege viene talvolta definito come l'ultimo grande logico «aristotelico». Affermando infatti la preminenza della logica formale sulla matematica, si muoveva nella stessa direzione teoretica dello Stagirita.

[29] Ciò si spiega anche per le circostanze in cui Russell comunicò al collega tedesco la sua scoperta. Essa fu comunicata mentre erano in corso le stampe delle bozze del libro sui fondamenti che Frege stava pubblicando e sul quale aveva chiesto il parere di Russell. Dopo una simile scoperta, tutto il libro, che costituiva per Frege il coronamento di una

tesi, Frege era convinto che le antinomie scoperte da Cantor fossero legate alla particolare nozione di «insieme» ed alla sua caratteristica costruttività che lo rendeva nozione di applicabilità strettamente matematica. Infatti gli insiemi sono costituiti in esistenza nella teoria cantoriana — e qui è tutta la sua bellezza formale! — non mediante assiomi ipotetici di esistenza — come sarà nelle future teorie «assiomatiche» degli insiemi[30] —, ma esclusivamente con una procedura dimostrativa, del tutto costruttiva, addirittura algoritmica, basata esclusivamente sul p.d.n.c.. Ogni insieme infatti è costituito come sottoinsieme del suo insieme–potenza, ovvero dell'insieme di tutte le possibili combinazioni dei sottoinsiemi dell'insieme di partenza[31], e così all'infinito, sia verso l'alto che verso il basso, senza supporre come assiomaticamente dati insiemi «primi» su cui basare il resto della costruzione. Viene naturale pensare, allora, che sostituendo la proprietà di costruttività ricorsiva che rende

---

carriera brillantissima e anche lo scopo ultimo per cui aveva lavorato tutta la vita e creato la logica simbolica — l'unificazione della logica e della matematica —, dovette essere abbandonato. Non certo però le grandi scoperte di Frege e soprattutto la sua invenzione della nozione di *funzione proposizionale**, cuore di tutta la logica simbolica moderna. Tale nozione è sicuramente una delle più grandi conquiste intellettuali dell'occidente in campo logico, dopo l'invenzione della logica formale da parte di Aristotele. Solo che quest'invenzione non servì per gli scopi che il suo autore si prefiggeva. L'umiltà intellettuale ed il distacco morale dalle proprie scoperte sono fondamentali anche nella scienza. Siamo servitori della verità e della scienza, mai padroni!

[30] Seguendo (Hallett 1984), riconosciuto ormai come una delle più autorevoli ricostruzioni della teoria cantoriana a partire dai testi originali, ci distacchiamo dall'interpretazione «ufficiale» di essa, diffusa dal magistero di Abraham Fraenkel (1891-1965). Si deve infatti a questo matematico, in collaborazione con Ernst Zermelo (1871-1953), la formulazione consistente di una teoria assiomatica degli insiemi (la teoria di Zermelo–Fraenkel, appunto), universalmente diffusa ed insegnata come «la» teoria degli insiemi, su qualsiasi manuale di matematica. Secondo l'interpretazione di Fraenkel, la teoria di Cantor sarebbe una teoria «ingenua» degli insiemi, basata su un implicito «assioma di comprensione» per la costituzione di insiemi, del tutto equivalente al principio di astrazione generalizzata vigente nella teoria delle classi di Frege (Cfr. nota 35). La peculiarità della teoria di Cantor è invece quella di pretendere di essere del tutto costruttiva, prendendo come unico assioma per la costruzione di insiemi, la loro coerenza, ovvero il p.d.n.c. Cfr. su questo punto, oltre che il già citato testo di Hallett, anche (Basti & Perrone 1996, soprattutto il cap. V).

[31] P.es., un insieme $A$ di quattro elementi {a, b, c, d}, esso può essere considerato come sottoinsieme dell'insieme-potenza di $A$, $\wp A$, composto di sedici elementi. $\wp A$ sarà composto cioè da sottoinsiemi costituiti da tutte le combinazioni possibili degli elementi di $A$: nessuno, a uno a uno, a due a due, a tre a tre, e, infine, a quattro a quattro, cioè $A$: {{∅}, {a}, {b}, {c}, {d}, {a,b}, {a,c}, {a,d}, {b,c}, {b,d}, {c,d}, {a,b,c}, {a,b,d}, {a,c,d}, {b,c,d}, {a,b,c,d}}, in totale 16 elementi. In generale, dunque, la «potenza» o «cardinalità» (il numero cardinale di elementi) di un insieme–potenza di un altro insieme con cardinalità $n$, sarà $2^n$.

ogni insieme sempre sottoinsieme di qualche altro insieme, si elimini anche la possibilità di cadere in antinomia[32].

Carattere *ingenuo* della teoria delle classi di Frege

Di qui l'idea di Frege di fondare gli insiemi matematici mediante la nozione logica di *classe*, definendo una *proprietà universale* che caratterizzi tutte le classi, il cosiddetto *assioma di astrazione* generalizzata. Tale assioma in sostanza afferma che, data una *proprietà* e il *predicato* che la esprime linguisticamente, è costituita in esistenza anche la classe di tutti gli elementi che hanno quella proprietà e quindi *soddisfano* quel predicato che, cioè, lo rendono «vero», costituendo il *dominio** di quel predicato[33]. P.es., definire il predicato «essere rosso» significa costituire la «classe di tutti gli oggetti rossi» e con essa il *dominio** di applicazione o *estensione** di quel predicato che lo rende vero definendolo univocamente all'interno del linguaggio. Proprio per questa sua caratteristica di fondare la coerenza della nozione di «classe», ovvero la consistenza del dominio di un predicato in una dato linguaggio, sulla supposta «verità» del predicato ad essa associato, la teoria di Frege (a differenza della teoria di Cantor. Cfr. nota 30) è definita come *teoria ingenua delle classi.*

Distinzione fra *classi normali* e *classi non-normali*

L'antinomia celata in tale costruzione si evince immediatamente non appena con Russell distinguiamo fra due generi di classi logiche:

- Le classi normali, le classi che non sono membri di se stesse, come sono la grande maggioranza delle classi logiche in qualsiasi genere di linguaggio (p.es., la classe degli uomini non è uomo a sua volta, perché è costituita su un predicato, essere-uomo, che non si applica a se stesso). In particolare, sono classi normali, la stragrande maggio-

---

[32] È evidente, infatti, che l'antinomia come quella dell'*insieme universale* deriva immediatamente da questa caratteristica costruttiva degli insiemi. Se un insieme dev'essere *universale* è chiaro che deve contenere *tutti* gli insiemi, quindi anche se stesso. Ma un insieme per essere tale secondo la definizione di Cantor, *deve* essere contenuto in un insieme di potenza o cardinalità più grande, quindi *non può essere contenuto in se stesso.* La collezione universale non può essere dunque un insieme: ma allora cade il progetto costruttivo di riduzione dell'intera matematica ad una costruzione basata su un'unica semplice nozione. Di per sé Cantor era cosciente fin dal principio di quest'antinomia, relativa ad una nozione d'insieme fondata sui numeri cardinali. Per questo cercò di «chiudere» il suo sistema mediante la nozione di *insieme massimale,* basato sui numeri ordinali (esiste una corrispondenza biunivoca fra i due generi di numeri), come limite di una successione di insiemi transfiniti di ordine crescente, una volta messa da parte la cosiddetta «ipotesi del continuo», l'ipotesi cioè che il continuo (o insieme dei numeri reali), fosse l'insieme di potenza immediatamente successiva a quello del numerabile (l'insieme dei numeri naturali e degli insiemi equipotenti ad esso). Fu il matematico italiano Cesare Burali–Forti (1861-1931) a mostrare per primo l'antinomicità della nozione d'insieme infinito ordinale massimale, decretando il fallimento del progetto cantoriano. Cfr. sulla questione delle antinomie nella teoria cantoriana (Basti & Perrone 1996, soprattutto il cap. V).

[33] Una definizione equivalente e più stringata di questo principio può trovarsi in (Lombardo–Radice 1981, 87) ed è riportata nella nota 35).

ranza di classi che costituiscono gli oggetti matematici, i numeri innanzitutto[34].

- Le classi non-normali, ovvero le classi che contengono se stesse come elemento, perché sono costituite su predicati che si applicano a se stessi (p.es., la classe dei polisillabi appartiene a se stessa, perché «polisillabo» è polisillabo, a differenza, per esempio, di «monosillabo»).

L'antinomicità della nozione di «classe totale» applicata alle classi normali

È evidente che finché rimaniamo alle classi non-normali non c'è alcun problema a pensare a «classi totali», ovvero a «classi di tutte le classi che contengono se stesse». Una classe di questo genere conterrà anche se stessa e sarà dunque totale. Ma quando ci avventuriamo nella definizione di «classe totale» di classi normali» — quelle di cui, fra l'altro, sono fatti gli oggetti matematici ed innanzitutto i numeri, nell'approccio fregeano — ci scontriamo con un'antinomia insuperabile proprio come nella teoria di Cantor. Per rendercene conto, basta domandarsi se la classe di tutte le classi che *non* contengono se stesse, conterrà o no se stessa. Se *contiene* se stessa, allora *non contiene* se stessa — perché per definizione può contenere tutte e sole classi che *non* si auto–contengono. Se *non contiene* se stessa, allora *contiene* se stessa — perché, sempre per definizione, deve contenere *tutte* le classi che non si auto–contengono. Dunque: se è *sì* allora è *no*, se è *no* allora è *sì*: antinomia. Come si vede, la nozione che si usa normalmente nella matematica come «classe di tutti i numeri» è tutt'altro che evidente e scontata: nasconde invece parecchie insidie!

È significativa la lettera accorata con cui Frege rispose a Russell. Frege era infatti ben cosciente che con la scoperta del carattere logico e non matematico dell'antinomicità di oggetti-collezione onnicomprensivi, siano essi insiemi o classi, ci si trovava di fronte alla morte di un sogno, non solo il suo, ma di un'intera epoca culturale, quello dello scientismo.

> La vostra scoperta della contraddizione mi ha causato la più grande sorpresa, starei per dire, costernazione, poiché ha scosso la base sulla quale intendevo costruire l'aritmetica[35]. (...) E ancora

---

[34] Ciascun numero naturale, 0,1,2,3... è definito nell'approccio fregano–russelliano come la classe di tutte le classi che contengono, rispettivamente, nessun, uno, due tre, ..., elementi. È chiaro dunque che i numeri sono tutte classi che *non* si auto–contengono. Pensiamo ora alla classe di tutti i numeri, oggetto dell'aritmetica. Essa sarà la classe di tutte classi che non contengono loro stesse. Essa conterrà o no se stessa? Se sì, l'aritmetica (e più in generale la matematica) risulterà essere una scienza del tutto autonoma, auto–fondantesi. Se no i fondamenti dell'aritmetica (e della matematica) andrebbero cercati altrove...

[35] Tale base, come già visto, si definisce generalmente come *principio incondizionato di astrazione*: «ogni proprietà determina l'insieme degli elementi che la verificano (determina la sua 'estensione')»

> adesso non comprendo come l'aritmetica possa venire fondata scientificamente (...) se non è permesso (...) passare da un concetto alla sua estensione. Posso parlare in ogni caso di estensione di un concetto, ossia posso parlare in ogni caso di una «classe»?
>
> *Solatium miseris, socios habuisse malorum.* Questo conforto, se conforto è, soccorre anche me. Infatti tutti coloro che nelle dimostrazioni hanno fatto uso delle estensioni concettuali, classi, insiemi, sono nella mia stessa situazione. Qui non è in causa il mio metodo di fondazione particolare, ma la possibilità di una fondazione logica dell'aritmetica in generale (testo citato in Lombardo-Radice 1981, 87).

*Il carattere sintattico dell'antinomia.*

L'antinomia di Russell prescinde dal problema della verità è legata alla sola nozione di appartenenza

L'ultima sottolineatura di Frege esprime bene come la scoperta di Russell va ben oltre i limiti dello stesso tentativo fregeano, di una fondazione logicista della matematica. Infatti, la teoria di Frege si muoveva ancora nell'ambito dell'approccio classico alla logica e alla matematica che faceva dipendere la coerenza dalla verità. Quello stesso per cui, prima di Lobacevskji e Riemann si dava per scontata la verità «evidente» della geometria euclidea. Per Frege, sia la logica che la matematica hanno a che fare con enunciati veri e non solo coerenti. Lo stesso assioma di astrazione prima ricordato rende evidente che la struttura sintattica di classe si fonda per Frege sul carattere veritativo dell'enunciazione: la classe è costituita dalla relazione fra predicato e il domino che soddisfa il predicato, che cioè lo rende *vero*. L'antinomia scoperta da Russell invece si muove esclusivamente sul piano sintattico della relazione di *appartenenza* di classe, non tocca minimamente il problema dell'adeguatezza/verità o meno del predicato al suo dominio. Se vogliamo l'antinomia viene «prima» di questo problema della verità[36].

Si rimuove così un pregiudizio millenario, che le antinomie fossero essenzialmente di origine semantica

Questa caratteristica della scoperta di Russell è importante perché rimuove un altro pregiudizio che nei secoli si era sedimentato e cioè che le antinomie logiche nascessero esclusivamente al di fuori della *sintassi** e della forma dell'argomentazione, che fossero legate cioè esclusivamente al contenuto dell'argomentazione medesima, che avessero insomma un esclusivo carattere *semantico* e non *sintattico.*

---

[36] Come aristotelici e come tomisti siamo invece convinti, come Frege, che il problema della verità venga prima di quello della coerenza. L'errore è che il problema della verità si gioca prima della relazione di «soddisfacibilità» che suppone il *dominio** di un predicato già costituito. La verità si gioca prima a livello di *costituzione* del dominio stesso — e quindi della classe o dell'insieme relativo. Si gioca cioè a livello del *porre in esistenza costruttivamente* l'esistenza dell'oggetto logico e/o matematico in questione — elemento o insieme che sia (Cfr. sopra, nota 23 p. 79).

Il caso tipico dell'antinomia del mentitore di origine sofistica

Paradigmatica a questo riguardo era la famosa «antinomia del mentitore», conosciuta fin dall'antichità, ai tempi dei megarici, e di cui si interessò Aristotele nei *Topici* e nelle *Confutazioni sofistiche* (25, 180b2-7) e, prima di lui, forse da Platone nell'*Eutidemo* (283a-286a)[37]. Nella sua forma più semplice consiste nel partire dall'enunciato «I cretesi affermano: 'tutti i cretesi sono bugiardi'» e domandarsi se ciò che i cretesi affermano di se stessi è vero o falso. È chiaro che quest'antinomia è di tipo semantico: ha a che fare con la verità o la falsità di enunciati su altri enunciati, come la necessità dell'uso di due livelli di virgolette evidenzia grammaticalmente. Per questa falsa convinzione del carattere esclusivamente semantico di ogni antinomia logica, sul modello di quella del mentitore, il razionalista di ogni epoca, sia antico che moderno, ha insistito sulla necessità della formalizzazione, all'inseguimento del mito dell'assolutezza delle proprie dimostrazioni. La scoperta di Russell distruggeva d'incanto una simile impostazione. Esiste una radice *sintattica* puramente formale delle antinomie: non basta il formalismo a evitarle!

Ma allora, se le antinomie non nascono dalla semantica soltanto, da dove nascono?

Di qui il problema: ma se le antinomie non nascono né dalla particolarità di alcune nozioni matematiche come quella d'insieme, né dall'uso di particolari espressioni semantiche, dov'è la loro origine? Se le antinomie hanno un'indubbia radice sintattica e non solo semantica, se hanno un'indubbia radice formale e non solo contenutistica, in cosa consiste questa radice? Ha forse origine in qualche anomalia dell'uso linguistico negli stessi linguaggi formali che è sempre sfuggita, ma potrebbe essere svelata e quindi evitata?

La risposta sulla struttura sintattica, logico–formale, di ogni antinomia la daranno i teoremi di Gödel

La risposta — ed una risposta negativa! — a tale questione verrà data solo nel secolo seguente, a partire dal 1931 e dai *teoremi d'incompletezza** dell'aritmetica formalizzata di Peano (Cfr. nota 20, p.76), ad opera del matematico austriaco Kurt Gödel, dimostrazione estesa, dai susseguenti lavori di Turing e di Tarski a tutti i sistemi formali. Da questi teoremi risulterà evidente che il rischio di contraddizione è insito nella nozione stessa di dimostrabilità formale ed è, da questo punto di vista, inevitabile, almeno in assoluto (Cfr. § 3.1.3, pp. 193ss.).

Prima però di accennare a quest'ultima tappa della questione sui fondamenti, è bene dare una sommaria sintesi delle scoperte rivoluzionarie che nel frattempo si determinano nella scienza fisica fra la fine dell'800 e i primi trent'anni del '900 e che hanno indotto a parlare di «nuova fisica» al riguardo. Sarà questo l'oggetto del prossimo capitolo.

---

[37] Più dubbia è l'attribuzione tradizionale ad Epimenide (VI sec.) di tale antinomia, basandosi anche sulla citazione biblica, paolina, della medesima, nella *Lettera a Tito,* 1,12. Molto più probabile è l'attribuzione fatta da Diogene Laerzio a Eubulide, uno dei fondatori della scuola megarica (IV sec.), contemporaneo di Aristotele.

## 1.6 Conclusione: rilevanza metafisica delle antinomie

Valenza metafisica delle antinomie: debolezza della nozione di «essere» nella logica e nella matematica assiomatiche

Per inserire la precedente discussione nel contesto delle problematiche metalogiche e metafisiche discusse in questo primo volume del nostro lavoro, è bene sottolineare l'aspetto metafisico della questione delle antinomie. Il fatto che esse abbiano evidenziato, dal punto di vista logico, il carattere sintattico piuttosto che semantico delle antinomie stesse non deve far dimenticare che le antinomie hanno anche una precisa valenza *metafisica*, nei riguardi della nozione di «essere» e di «esistenza». Infatti, sia nel caso della teoria cantoriana degli insiemi, sia nel caso della teoria fregeana delle classi, la contraddittorietà s'innesca non appena si affronti in maniera metafisicamente riduttiva, la questione dell'*esistenza*. Non appena cioè si cerca di ridurre la nozione di «essere» (essere dell'esistenza, di un soggetto metafisico di proprietà e relazioni) a quella di «essenza» (essere dell'essenza, di un insieme di proprietà e relazioni che determinano un soggetto), senza distinguere adeguatamente fra i due, pur mantenendo la loro radicale unità e complementarietà con una nozione più adeguata ed inclusiva di «essere» (essere come atto).

Limite essenzialista della nozione di essere, ridotto alla pura «inclusione» e/o «appartenenza» nel *costruttivismo** cantoriano e fregeano

Sia nell'approccio «costruttivista» di Cantor sia nell'approccio «ingenuo» di Frege, la nozione di esistenza dell'ente logico-matematico viene *ridotta*, rispettivamente, o alla *consistenza* della relazione ricorsiva d'inclusione insieme–sottoinsieme, o alla *consistenza* della relazione di appartenenza di classe. È l'essere ridotto alla pura e semplice «copula» fra un soggetto e un predicato di cui parlava Kant, come vedremo meglio nel Quarto Capitolo (Cfr. § 4.3, pp. 257ss.). Ricordiamo infatti che l'esistenza di un oggetto (insieme) si riduce, nella teoria cantoriana, alla consistenza ricorsivamente dimostrabile della *relazione di inclusione* dell'oggetto in questione **X** come sotto-insieme del suo insieme-potenza **Y**. In simboli: «$\mathbf{X} \subset \mathbf{Y}$». E ricordiamo anche che l'esistenza di un oggetto $x$ (elemento e/o classe) nella teoria fregeana si riduce alla consistenza della relazione di appartenenza di $x$ ad una data «classe» $y$. In breve: «$x$ esiste» in quella teoria può essere significativamente considerato se e solo se si può dimostrare che quell'affermazione equivale all'altra «$x$ è $y$», nel senso di «$x$ appartiene alla classe $y$». In simboli: «$x \in y$».

Rischio d'impredicatività nelle costruzioni di insiemi e di classi messo bene in luce da Poincaré, prima della scoperta delle antinomie

Come per primo Poincaré si accorse, in tutt'e due i casi questo riduzionismo metafisico che fa dell'essere, non il *primum cognitum* irriducibile, tale che ogni altra nozione — comprese quelle di verità, di consistenza, di appartenenza, di inclusione, etc. — debba ridursi ad un'articolazione particolare della nozione onnicomprensiva di «essere», ma che viceversa, cerca di ridurre questa a quelle, espone le due suddette teorie al rischio

*dell'impredicatività* e del *circolo vizioso* nella stessa definizione delle due nozioni fondamentali, rispettivamente di «insieme» e di «classe». La definizione di un oggetto si dice infatti impredicativa se i termini usati per la definizione, in qualche modo suppongono la definizione stessa. Più radicalmente, un'impredicatività si annoda in un circolo vizioso e quindi in una contraddittorietà se, per giustificare l'esistenza dell'oggetto in questione, bisogna supporre l'esistenza della collezione che lo contiene, la quale, a sua volta, per esistere, suppone l'esistenza dell'oggetto stesso. È quella che Husserl definiva l'impredicatività della nozione di *parte* e *tutto*: l'esistenza della «parte» suppone quella del «tutto» e viceversa.

Dottrina dell'essere come atto evita l'impredicatività preservando la costruttività perché garantisce una regola di costruzione dell'esistenza degli individui indipoendente dalla regola di costruzione delle collezioni di appartenenza

È ovvio che, solo separando la fondazione dell'essere dell'individuo (parte) dalla fondazione dell'essere della collezione cui appartiene (tutto), si può spezzare il circolo vizioso. Infatti, dice Tommaso, se è perfettamente plausibile affermare che il tutto *non può esistere* senza la parte, non è vero viceversa: la parte *può esistere* senza il tutto, ovviamente non come parte, ma come *individuo* (Cfr. Tommaso d'Aq., *In de Trin.,* II, I, 3c). Per ammettere questo, però, bisogna supporre che l'esistenza dell'individuo non si riduca ad un'appartenenza di classe, senza però rinunciare alla costruttività dell'esistenza individuale. Senza cioè che l'esistenza degli ingredienti fondamentali o *Ur-element* della teoria, sia affidata ad «atti di fede logica», ovvero ad assiomi ipotetici di esistenza, ma ad un qualche «principio esplicativo». In questo senso, l'esistenza ha un carattere «costruttivo» per Tommaso — p.es., ha una spiegazione «causale» nella sua metafisica: la dottrina della partecipazione dell'essere «secondo la misura» dell'essenza —, senza che tale «costruttività» si riduca a quella di un meccanismo di appartenenza o di inclusione più o meno ricorsivo. In una parola, *esistere* (essere dell'esistenza o *essere comune*) non è *l'esser qualcosa* (essere dell'essenza, o *entità*), sebbene l'uno determini l'altro secondo due relazioni reciproche, ma non simmetriche. È in questa differenza ed unità *reali* fra essere ed essenza, il nucleo della metafisica tomista *dell'essere come atto,* come vedremo nel Quinto e Sesto Capitolo.

Viceversa nelle successive teorie assiomatiche degli insiemi e delle classi, esistenza degli *Ur-element* (dall'alto o dal basso) affidata ad assiomi di esistenza

Viceversa, proprio per la mancanza di tale distinzione, le teorie degli insiemi (e delle classi) successive alla scoperta delle antinomie, vengono definite *teorie assiomatiche degli insiemi* (e delle classi), in quanto, mediante opportuni *assiomi di esistenza* si elimina il rischio che l'impredicatività delle nozioni d'insieme e/o di classe si trasformi in esse in altrettanti circoli viziosi. È questo il caso, per la teoria degli insiemi dell'«assioma dell'insieme–potenza» di John Von Neumann (1903-1957) mediante cui viene assiomaticamente garantita l'esistenza di quegli insiemi «troppo infiniti» (come per esempio il continuo matematico: Cfr. (Cohen 1966)), grazie ai quali gli altri insiemi «più piccoli» possono venir costruiti come loro sottoinsiemi senza il rischio di circoli viziosi. Oppure è questo il ca-

so, per la teoria delle classi, della «teoria dei tipi semplici» di Frank P. Ramsey di cui abbiamo già accennato (Cfr. sopra, nota 26, p. 82), dove mediante opportuni assiomi di esistenza si garantisce l'esistenza di «individui», come primitivi che possano garantire la stabilità delle successive costruzioni di classi e di tipi. Nell'uno e nell'altro caso, come suggerisce bene E. Zermelo, per evitare contraddizioni, sembra non si possa fare a meno di garantire assiomaticamente l'esistenza di *Ur–Element*, di elementi primitivi, sui cui fondare — dal «basso» o dall'«alto», a seconda dei casi — la successiva costruzione dell'edificio teorico delle classi e/o degli insiemi (Cellucci 1978).

Limite delle teorie assiomatiche: separare costruttività da consistenza condannando la logica e la matematica teorica alla genericità e all'inutilità

Ovvero, per dire la medesima cosa nei termini del più volte citato Hallett, dopo la scoperta delle antinomie, tutte le teorie fondazionali devono in qualche modo contenere assiomi di limitazione della dimensione degli insiemi (classi) costruibili (Hallett 1984). Con quest'assiomatizzazione però, la matematica contemporanea caccia fuori se stessa dal «paradiso di Cantor», come giustamente notò Hilbert, quasi avesse commesso un nefasto «peccato originale». Si preclude cioè la possibilità di coniugare *rigore* (costruttività) a *consistenza* (coerenza), per condannarsi a teorie *generiche*, tanto consistenti, quanto non–costruttive e dunque sterili (Cellucci 1998).

Se tutto ciò non può che far sorridere compiaciuto il metafisico autentico che sa bene come «l'essere» la faccia pagare — e pagar cara! — a tutti coloro che pretendono di costruire edifici teorici, pensando di poter fare a meno di lui, supponendo addirittura di poter ridurre «l'essere» a qualche nozione logico–formale «più fondamentale» (sic!), allo stesso tempo la suddetta vicenda fa riflettere il metafisico tomista.

Significanza della dottrina dell'essere come atto

E la riflessione del metafisico tomista non può che essere un po' meno compiaciuta. Ecco un'altra occasione persa dal pensiero occidentale — egli pensa — per approfittare in maniera costruttiva, utile alla cultura, della dottrina tomista della *differenza reale* dell' «essere» e dell' «essenza» ed insieme *dell'unità profonda* di questi due principi costituenti della struttura metafisica di ogni ente (= dottrina *dell'essere come atto,* ovvero dell'essere inteso *come atto,* di una correlativa essenza intesa *come potenza*) — l'ente logico-matematico incluso, come nel nostro caso.

Costruzionismo fegeano–cantoriano pecca di essenzialismo, quanto l'approccio assiomatico di esistenzialismo

Se infatti il costruzionismo cantoriano e fregeano peccava di eccesso di *essenzialismo* riducendo l'essere dell'esistenza (dell'individuo) a quello dell'essenza (inclusione e/o appartenenza di un insieme e/o di una classe), l'approccio assiomatico, per la legge del pendolo, pecca di eccesso di *esistenzialismo.* Garantendo in forma assiomatica l'esistenza degli «ingredienti fondamentali» della teoria con una sorta di «fideismo matematico», tale approccio rende troppo indipendente l'essere (dell'esistenza)

dall'(essere dell')essenza, frammentando ed indebolendo il sapere scientifico logico–matematico in una miriade di modelli e costruzioni teoriche di cui necessariamente si perde la visione e la coerenza d'insieme. Supponendo come tutti esistenti gli oggetti dell'universo *V* della teoria, sia quelli «fondamentali» (mediante assiomi di esistenza), sia quelli «costruiti» (mediante l'applicazione di regole di costruzione e d'inferenza), l'unico modo per evitare contraddizioni è quello di indebolire il grafico delle relazioni degli oggetti all'interno di *V*, di limitare cioè il rigore dimostrativo ed assertivo della teoria ad enunciati puramente generici. Solo così si può evitare «viziosità» anche usando definizioni impredicative (Cfr. Longo 1999). In tal modo, però, si riduce enormemente l'effettività del calcolo sia logico che matematico — la sua capacità di trovare soluzioni rigorose a problemi specifici o comunque ben definiti. Oppure, se si cercano quelle soluzioni, si è costretti ad indebolire il rigore delle procedure dimostrative (Basti & Perrone 1996). Il rigore viene così esiliato nell'astrattezza delle formule belle ma inutili, e la scienza «che serve», quella delle applicazioni, quella da cui è condizionata la vita di noi tutti, diviene regno dell'arbitrio, dei modelli *ad hoc*, sempre esposte alla strumentalizzazione tecnologica ed economica da parte dei poteri «forti».

Dottrina di Tommaso dell'essere come atto via media fra essenzialismo e esistenzialismo, fra platonismo e aristotelismo

Purtroppo non si può approfondire qui più di tanto l'alternativa tommasiana a questo stato di cose nella teoria dei fondamenti della logica e della matematica. Tale teoria si presenta come una sorta di *via media* che eviti gli eccessi del *formalismo* essenzialista e dell'*assiomaticismo* esistenzialista, anche perché abbiamo sviluppato altrove questo tentativo (Basti & Perrone 1996). Sia qui stato sufficiente l'accennarvi, perché — sebbene sotto veste diversa — queste due tendenze dell'ontologia contemporanea dell'ente logico–matematico hanno i loro progenitori metafisici, rispettivamente, nel platonismo e nell'aristotelismo. Se infatti nel platonismo la metafisica pecca di essenzialismo, riducendo l'essere dell'esistenza a quello della sola essenza (Cfr. § 5.3, pp. 314ss.), la via aristotelica per evitare le contraddizioni insite nell'essenzialismo platonico corre il rischio insito ad ogni approccio assiomatico. Quello dell'astrattezza e della genericità, proprio perché, dopo aver distinto l'essenza dall'esistenza (sostanza seconda, da sostanza prima), poi non riesce a fornire una teoria fondativa di quest'ultima in relazione a quella, come invece gli era riuscito di fare per la sola essenza, attraverso la distinzione atto–potenza applicata a forma–materia (Cfr. § 5.4, pp. 323ss.). Anche da questo punto di vista, dunque, il pensiero di Tommaso d'Aquino appare di sintesi fra i due grandi pensatori metafisici dell'antichità classica, Platone ed Aristotele e, in generale, fra le due grandi tendenze della metafisica di ogni epoca: essenzialismo ed esistenzialismo, idealismo ed empirismo.

Torneremo, comunque su questi aspetti della questione, approfondendo, da una parte l'ontologia empirista del neo–positivismo logico (Cfr. § 4.3, pp. 257ss.), dall'altra la stessa teoria tomista dell' essere come atto (Cfr. § 5.5.2, pp. 356).

## 1.7 Sommario del Primo Capitolo

In questo primo capitolo abbiamo fornito un breve *excursus* storico sulla nascita della scienza moderna, sul suo sviluppo fino alla fine del XIX secolo e sull'influenza che questi eventi hanno avuto sull'antica filosofia della natura. Nel § 1.1 abbiamo illustrato brevemente la nascita del pensiero scientifico moderno nei secoli XVI-XVII come ripresa su nuove basi epistemologiche dell'approccio fisico–matematico greco allo studio della natura. L'inizio della scienza moderna coinciderà in particolare con lo sviluppo del *nuovo approccio matematico–sperimentale* di Galilei (la natura non va contemplata, ma interrogata mediante le nostre ipotesi matematiche di spiegazione) e *la nascita del calcolo infinitesimale* ad opera di Newton e Leibniz, con la soluzione del problema della quadratura delle curve, problema sul quale si era fermato lo sviluppo dell'approccio greco allo studio fisico–matematico della natura.

In § 1.2 abbiamo ricordato l'eclisse moderna della filosofia della natura a causa dell'errata interpretazione della scienza moderna come una nuova metafisica dell'ente naturale. Come, cioè, una nuova filosofia della natura e non come qualcosa di profondamente distinto. Di qui l'affermarsi dello *scientismo* nelle sue varie forme, illuminista e positivista in particolare.

In § 1.3 abbiamo accennato brevemente alla meteora della filosofia della natura di stampo hegeliano ed al suo ruolo per la nascita delle *scienze dell'uomo* come distinte dalle *scienze della natura*.

In § 1.4 abbiamo cercato di individuare quali erano le radici dello *scientismo illuminista* che, contrapposto al *razionalismo filosofico*, ha portato a quell'esiziale contrapposizione ideologica fra le «due culture», scientifica e umanista, di cui ancora paghiamo le conseguenze. Dapprima in § 1.4.1 abbiamo ricordato brevemente come l'apogeo scientifico del programma illuminista è stato raggiunto con l'assiomatizzazione dell'analisi matematica e del concetto di limite tra la fine del sec. XVIII e la prima metà del secolo XIX. Quindi in § 1.4.2 abbiamo individuato la radice dell'ideologia scientista moderna nella pretesa di costruire una scienza naturale sulla presunta *autoevidenza* delle leggi della dinamica newtoniana, sul modello dei postulati della geometria euclidea. Tipico esempio di tale ideologia è stata l'ipotesi di *determinismo meccanicista assoluto dell'universo fisico*, contenuta nell'opera di Laplace e l'esaltazione della fisica newtoniana

come «scienza assoluta». Ovvero, come forma di sapere *apodittico* (= la coerenza della dimostrazione, legata alla verità degli assiomi) e non *ipotetico* (= la coerenza della dimostrazione indipendente dalla verità degli assiomi), sostitutivo della metafisica e della filosofia in generale. Di qui la nascita del programma della filosofia critica kantiana come programma di giustificazione dell'universalità e della necessità della matematica e della fisica «pure». Esse sono per Kant basate, non sulla presunta conoscibilità della natura delle cose, ma sull'assolutezza autoevidente dei principi formali della scienza matematica e fisica, prodotto dell'autocoscienza, dell'«Io trascendentale» meta–soggettivo. Alle due scienze regine si contrappone così, secondo Kant, la contraddittorietà e la sterilità della metafisica tradizionale, vista ormai soltanto come infondato dogmatismo. Ma, come in ogni parabola storica, l'apogeo dell'esaltazione illuminista della scienza moderna, segna anche l'inizio del suo declino, legato alla cosiddetta «crisi dei fondamenti», innanzitutto della base matematica ed epistemologica della scienza moderna: la geometria e l'analisi matematica.

In § 1.5 abbiamo perciò esaminato con una certa ampiezza l'evento della *crisi dei fondamenti della matematica* nel secolo XIX. La disfatta del mito scientista comincia con l'assiomatizzazione della matematica (Cfr. 1.5.1) e la conseguente conferma del *carattere ipotetico* e non apoidittico delle teorie scientifiche. Il primo passo sarà la nascita delle geometrie non–euclidee di Bolyai e Lobacevskji (Cfr. § 1.5.1.1). Da questo momento la regina delle scienze apodittiche moderne, la geometria, viene declassata a scienza ipotetica e l'evidenza cessa di essere considerata fondamento dell'ormai presunta verità assoluta dei postulati della matematica, mettendo in crisi il paradigma kantiano. La generalizzazione dell'approccio alle nuove geometrie non-euclidee si ha nella prima assiomatizzazione della geometria ad opera di B. Riemann (Cfr. § 1.5.1.2). Causa la completa formalizzazione dell'approccio, la geometria, e la matematica in generale, viene ad assomigliare sempre più alla logica formale, per la sostituzione del criterio della coerenza a quello della verità, come criterio di validità degli asserti matematici. Riemann fornisce, infine, un modello euclideo della sua geometria ellittica, come geometria dello spazio curvo — esteso da Beltrami alla geometria iperbolica di Lobacevskji —, fornendo insieme, un modello unificato, quasi intuitivo, delle nuove geometrie ed insieme una prova indiretta della loro consistenza, che risultava così equivalente a quella della geometria euclidea.

Il profondo rivolgimento delle convinzioni che avevano guidato per millenni i matematici, portarono perciò alla necessità di una riflessione approfondita sui fondamenti della matematica. Ormai non ci si poteva fidare più dell'evidenza e tutto ciò che era apparso fino ad allora scontato,

evidente, appunto, doveva essere sottoposto ad attenta indagine razionale (Cfr. § 1.5.2). In tale sforzo sistematico, ci si è imbattuti nel problema delle antinomie. Per primo fu G. Cantor (Cfr. § 1.5.2.1), nella sua teoria non–assiomatica degli insiemi, ad imbattersi nell'antinomicità di nozioni onnicomprensive come l'*insieme universale* o l'*insieme massimale*. Infatti, la nozione di «insieme» era venuta ad essere considerata, soprattutto dopo l'assiomatizzazione della nozione di limite ad opera di Weierstrass, come la nozione generale comune a tutti i concetti matematici, da quelli della geometria (figura = insieme di punti), a quelli dell'aritmetica (numero = insieme di unità) e quindi dell'analisi stessa (funzione = relazione fra insiemi ordinati).

Di ben maggiore risonanza culturale fu la scoperta da parte di B. Russell (§ 1.5.2.2) di un'analoga antinomia (l'antinomia della *classe totale*) nel tentativo *logicista* di G. Frege di costruire una teoria dei fondamenti della matematica basata sulla nozione logica di *classe* e non d'insieme. La gravità della scoperta era legata al fatto che l'antinomia era di tipo *logico* e non solo matematico, di tipo *sintattico* e non semantico (era basata sulla nozione sintattica di «appartenenza» e non su quella semantica di «verità»), come lo erano invece le altre antinomie logiche note nella storia del pensiero occidentale, a partire dalla famosa «antinomia del mentitore» del pensiero greco. Veniva così a cadere uno dei motivi fondamentali per rinunciare ai contenuti del pensiero metafisico classico, all'essere e alla verità: la certezza che le antinomie logiche fossero esclusivamente di carattere semantico.

Infine in § 1.6 abbiamo, come conclusione, esaminato la rilevanza metafisica delle antinomie ed i limiti della soluzione assiomatica a tali antinomie, nei fondamenti delle teorie contemporanee degli insiemi e delle classi. Limitando in ciascuna teoria dei fondamenti la collezione degli insiemi costruibili e affidando ad opportuni assiomi l'esistenza degli altri che creano problemi, come si fa nelle teorie assiomatiche degli insiemi post–cantoriane (p.es., nella teoria ZF di Zermelo–Fränkel o in quella NGB di Von Neumann-Gödel-Bernays) si pecca di un eccesso di esistenzialismo, reciprocamente a come negli approcci costruttivi di Cantor e di Frege si peccava di un eccesso di essenzialismo. Di qui l'utilità della teoria tomista dell'essere come atto che, distinguendo nell'essere fra essere dell'essenza (entità) ed essere dell'esistenza (essere comune), li include ambedue, rendendo l'essere e l'essenza reciprocamente determinantesi come atto e potenza nella costruzione dell'esistenza e dell'entità di ogni individuo.

## 1.8 Bibliografia del Primo Capitolo

**Quando le date tra parentesi nella referenza sono diverse da quelle in calce al termine della citazione bibliografica, le prime si riferiscono all'edizione (in lingua) originale dell'opera.*

BASTI G. (1999). «Metafisica, metalogica e nuove prospettive della filosofia», *Divus Thomas* **24**, pp. 13-52.

BASTI G. & PERRONE A.L. (1996). *Le radici forti del pensiero debole: dalla metafisica, alla matematica, al calcolo*, Il Poligrafo e Pontificia Università Lateranense, Padova-Roma.

BASTI G., STRUMIA A., TESTI C. A. (1999). (EDS.), *Fides et Ratio:* analitici, continentali e tomisti, *Divus Thomas* **24.**

BOCHENSKI J. M. (1956). *La logica formale.* Volume I: *Dai presocratici a Leibniz.* Volume II: *La logica matematica*, ed. it. a cura di A. Conte, Einaudi, Torino, 1972.

BOYER C. B. (1968). *Storia della matematica*, Mondadori, Milano, 1982.

BROUWER L. E. J. (1908). *Die onbetrouwbaarheid der logische principes*, Tijdschrift voor wijsbegeerte, vol. 2.

— (1954). *Lezioni sull'intuizionismo,* a cura di B. Van Dalen, Bollati Boringhieri, Torino, 1983.

CASSIRER E. (1978). *Storia della filosofia moderna*, 4 vv., Einaudi Torino.

CELLUCCI C. (1978). (a cura di) *Il paradiso di Cantor. Il dibattito sui fondamenti della teoria degli insiemi*, Bibliopolis, Napoli.

— (1998). *Le ragioni della logica*, Laterza, Roma-Bari, 2000².

COHEN P. J. (1966). *The continuum hypothesis*, New York.

DRAKE S. (1990). *Galileo Galilei, pioniere della scienza,* Muzzio, Padova, 1992.

HALLETT M. (1984). *Cantorian set theory and limitation of size*, Clarendon Press, Oxford, 1996².

HEIDEGGER M. (1950). «L'epoca delle immagini del mondo», in: ID., *Sentieri interrotti*, La Nuova Italia, Firenze 1968⁴, pp.71-101.

KANT I. (1781). *Critica della ragion pura*, 2 vv., Laterza, Roma–Bari, 1971⁴.

KOYRÉ A. (1961). *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Einaudi, Torino.

— (1980). *Introduzione a Platone,* Vallecchi, Firenze.

LOMBARDO–RADICE L. (1981). *L'infinito. Itinerari filosofici e matematici di un concetto di base,* Editori Riuniti, Roma.

LONGO G. (1999). «The mathematical continuum, from intuition to logic», in: *Narturalizing phenomenology: issues in contemporary phenomenology and cognitive science (section on matehematics and formal meth-*

*ods),* J. PETITOT ET AL. (EDS.), Stanford University Press, Stanford.

NAGEL E. & NEWMAN J. R.. (1993). *La prova di Gödel*, Bollati- Boringhieri, Torino.

NELSON E. (2002). «Syntax and semantics». *Proceedings of IRAFS'02 Conference on «Foundations and the ontological quest. Prospects for the new millennium», Vatican City, January 7-10, 2002,* online publishing: www.pul.it/irafs/irafs.htm.

ROBINSON A. (1974). *Non-Standard Analysis, Revised edition* North-Holland.

RUELLE D. (1984). «Determinismo e predicibilità», in *Il caos. Le leggi del disordine,* a cura di G. CASATI, Le Scienze S.p.a. Editore, Milano 1991, pp.3-21.

TOTH I. (1997). *Aristotele e i fondamenti assiomatici della geometria. Prolegomeni alla comprensione dei frammenti non–euclidei del «Corpus Aristotelicum»*, Vita e Pensiero, Milano.

# 2. Le rivoluzioni scientifiche del XX secolo

*Le rivoluzioni concettuali della «nuova» fisica — termodiinamica, relatività, quantistica, complessità — e i cambi di paradigma che esse comportano nell'epistemologia della scienza moderna di derivazione humiano-kantiana, in particolare rispetto alla fondazione «trascendentalista» (logicista) del principio di causa e alla dicotomia determinismo–aleatorietà nello studio dei processi fisici*

## 2.1 Nascita della «nuova fisica»

A differenza di quanto abbiamo appena fatto con le rivoluzioni nella matematica della fine dell'800 e sulle quali non ritorneremo più in questo lavoro, le scoperte della «nuova fisica» costituiranno, approfondite dal punto di vista della filosofia della natura, l'oggetto della Terza Parte di questo lavoro. In questa sezione ci limiteremo dunque a ricordarle sommariamente per completare il quadro della rivoluzione scientifica compiutasi negli ultimi centocinquant'anni, che ha mutato radicalmente concezioni secolari e, nel caso della matematica, millenarie.

## 2.2 Ridimensionamento della fisica newtoniana

Pretesa di onnicomprensività della meccanica newtoniana

Il punto di partenza è la *pretesa di onnicomprensività* della fisica-matematica newtoniana rispetto allo studio di *tutti* i fenomeni fisici che potessero essere oggetto di studio delle scienze naturali moderne. Una pretesa basata sulla presunta *auto-evidenza* e quindi assoluta *verità* delle tre *leggi della dinamica*[38] del tutto simile a quella a quel tempo supposta per i postulati della

[38] Li ricordiamo sommariamente: 1) *principio di inerzia*; 2) *principio di proporzionalità della forza al prodotto massa × accelerazione* ($\mathbf{F} = m \times \mathbf{a}$, legge fondamentale della dinamica); 3) *principio di azione e reazione*. Il carattere matematico di tali principi deriva dal fatto che essi sono *condizione necessaria e sufficiente* per l'applicabilità del calcolo allo studio della dinamica. Solo infatti fermandosi, nell'ordine di derivazione, alle derivate seconde (v. *derivata**), non supponendo una variazione dell'accelerazione, il calcolo funziona. Per questo occorre che il sistema sia isolato, che valga cioè il principio d'inerzia, o che, comunque, operando op-

geometria euclidea[39]. Ecco dunque un passo dell'ottica di Newton dove questi ingredienti della sua teoria emergono chiaramente:

> I fenomeni della natura c'insegnano che siffatti principi (= le tre leggi della dinamica) esistono realmente, anche se la loro causa non è stata ancora investigata. Le *leggi* di cui parliamo sono dunque *evidenti* e solo le loro *cause* possono dirsi *oscure*. Gli aristotelici e gli scolastici invece hanno considerato come qualità oscure non già delle proprietà in qualche modo note, ma piuttosto altre che pensavano fossero nascoste nei corpi e costituissero la ragione sconosciuta degli aspetti visibili. Ma a questa categoria tanto la gravitazione quanto la forza elettrica e magnetica apparterrebbero solo se noi presupponessimo che esse derivano dalla natura intima delle cose a noi sconosciuta, cioè da un sostrato impensabile ed insondabile. Siffatte «qualità» sono indubbiamente un ostacolo per il progresso scientifico e sono quindi rifiutate a buon diritto dall'*indagine moderna. La credenza in essenze specifiche delle cose dotate di specifiche forze nascoste* e quindi adatte a produrre determinati effetti sensibili, è del tutto vuota e priva di significato[40]. Derivare invece

portunamente per ridurre la complessità del sistema studiato, la situazione possa essere realisticamente ridotta a tale paradigma di base.

[39] È storicamente accertato che Newton — proprio per combattere il carattere *ipotetico* che Galilei, su suggerimento del Cardinal Bellarmino, accettò di ammettere per la sua scienza matematica della natura in occasione della sua prima denuncia all'Inquisizione nel 1616, ma che non gli bastò per evitare la condanna del 1633, basata sull'erronea convinzione che nel *Dialogo* egli avesse voluto *dimostrare* la teoria copernicana (Drake 1990, 183. 214s.) — aveva invece inteso dare un carattere assolutamente apodittico (*hypotheses non fingo*), ai suoi *Philosophiae naturalis principia mathematica* del 1687, del tutto analogo a quello che al tempo si supponeva potesse essere attribuito alla geometria euclidea (Cfr. su questo Boyer 1968, 450ss.; Koyré 1965, 31-43).

[40] È rilevante — sempre per porre in rilievo i punti di contatto che, a livello dei fondamenti metafisici, possono essere evidenziati fra scienza moderna e filosofia della natura aristotelico–tomista autentica — che sull'argomento Tommaso d'Aquino era stato ancora più drastico con certi «aristotelici» del suo tempo di quanto, più di quattro secoli dopo, fu in questo ed in altri testi Newton — e prima di lui Galilei — con i pronipoti di quegli aristotelici. Tommaso infatti definisce, non «vuota» e «priva di significato», ma addirittura «ridicola» quest'idea d'intendere la «natura» o «essenza specifica» dei corpi come una «forza nascosta» che produce effetti meccanici, particolari. Evidentemente, nel 1200 erano ben vive queste contaminazioni neoplatoniche dell'aristotelismo autentico che poi, purtroppo — anche perché l'insegnamento di Tommaso fu confinato alla sola teologia — presero piede nel Rinascimento, contribuendo alla crisi di credibilità che ha afflitto la filosofia della natura aristotelico–tomista fino ai nostri giorni. Afferma testualmente Tommaso: «*Sono ridicoli* (*deridendi sunt*) quegli aristotelici che volendo correggere Aristotele su questo punto, pretendono di definire la natura come qualcosa di *assoluto* (non relativo all'azione delle cause agenti sulla materia, e quindi come un principio *attivo* e non *passivo*, come invece esso realmente è, *N.d.R.*) affermando che la natura è una *forza nascosta nelle cose* (*vis insita in rebus*) o qualcosa di simile» (Tommaso d'Aq., *In Phys.*, II,i,145). Per la spiegazione aristotelico–tomista della natura di una determinata specie di corpi come *principio passivo,* come risultato di una determinata causalità fisica all'interno del cosmo, cfr. *infra* § 5.4.4, pp.343ss. e §5.5.2 pp.356ss.

> dai fenomeni due o *tre principi generali del movimento*, e spiegare come poi da essi, quali presupposti chiari ed evidenti, debbano seguire tutte le proprietà e le manifestazioni di *tutte le cose materiali*, sarebbe già un importante progresso della conoscenza scientifica, anche se le *cause* di tali principi rimanessero a noi completamente sconosciute (Newton 1704, 326).

Carattere ipotetico della fisica newtoniana

Dopo la scoperta delle geometrie non–euclidee è chiaro che anche la pretesa apoditticità delle leggi newtoniane ha dovuto essere sostituita con una più sana ed oggettiva *ipoteticità*. Questa revisione, non è stata però legata solo al cambio di clima culturale, ma anche ad una serie di fondamentali scoperte scientifiche nel campo della fisica, che hanno di molto ampliato l'universo delle scienze fisiche e della stessa dinamica.

Carattere parziale della fisica newtoniana, limitata allo studio dei fenomeni macroscopici

Nell'attesa di riaffrontare approfonditamente questi temi nella Terza Parte di questo lavoro, limitiamoci ad evidenziare le scoperte più eclatanti che hanno modificato radicalmente la visione della realtà fisica, alla luce delle scienze moderne, ampliandone di molto i contenuti. Da questo momento in poi, la meccanica newtoniana non sarà più «*la* meccanica», ma si identificherà con un sottoinsieme di essa, la «meccanica classica» che ha un dominio di applicazione ben definito — i cosiddetti fenomeni meccanici *macroscopici* (quelli dell'esperienza ordinaria, per intenderci). In campo *mesoscopico* (aggregati molecolari) valgono i principi della *termodinamica* (*lineare* e *non-lineare*). In campo *microscopico* (dalla molecola, all'atomo, al sub-atomico e al sub-nucleare) valgono i principi della *meccanica quantistica* e della *relatività ristretta* (*elettrodinamica quantistica* e *cromodinamica quantistica*). In campo *megaloscopico*, a livello dei fenomeni su scala cosmica, valgono i principi della *meccanica relativistica* (*relatività generale*).

Come si vede, il destino della meccanica newtoniana è del tutto simile nella storia del pensiero scientifico moderno a quello del suo paradigma matematico: la *geometria euclidea*. La nascita della geometria non-euclidea non ha reso minimamente «superata» la geometria euclidea. Ha solo ridimensionato la falsa e non scientifica pretesa ideologica che essa fosse *l'unica* geometria e fosse dunque una teoria *apodittica*, basata su postulati assolutamente *veri*. Essa è invece una *teoria ipotetica*, quindi con dei limiti di verità, validità e applicabilità ben definiti. Ugualmente, la nascita di nuove teorie fisiche con nuovi assiomi, nuove leggi irriducibili a quelle della meccanica classica, ha solo significato un ridimensionamento delle false pretese di assolutezza della meccanica newtoniana, ma non ha significato assolutamente un suo «superamento» da parte della «nuova» fisica.

Le novità:

Gli aspetti più innovativi rispetto alla meccanica classica di queste nuove teorie possono essere così sintetizzati:

1. Termodinamica e freccia del tempo

- La nascita e lo sviluppo della termodinamica come teoria statistica degli aggregati molecolari che introduce un'*irreversibilità* temporale in siffatti fenomeni fisici. Un'irreversibilità che, nei sistemi termodinamici, va nella direzione dell'aumento del *disordine* all'interno del sistema.

2. Meccanica quantista ed indeterminazione

- La nascita e lo sviluppo della meccanica quantistica con i suoi principi di *quantizzazione, indeterminazione, esclusione, complementarità,* che non hanno corrispettivo nella meccanica classica.

3. Sviluppo della relatività ristretta

- La nascita e lo sviluppo della *teoria della relatività ristretta*, con la sua legge fondamentale $E = mc^2$ che evidenzia la reciproca trasformabilità fra massa ed energia per corpi accelerati a velocità prossime a quella limite della radiazione elettromagnetica (luce). Un'idea questa che, coniugata con i principi della meccanica quantistica, si è mostrata assai feconda nell'ambito della fisica dei sistemi microscopici, quantistici, nella forma delle leggi dell'*elettrodinamica quantista* e della *cromodinamica quantista* (Cfr. Terza Parte).

4. Sviluppo della relatività generale

- La *teoria della relatività generale* che fornisce una spiegazione della *forza di gravità* $G$ che la fisica newtoniana non aveva, pur avendone Newton descritto, con la *legge di gravitazione universale*, per la prima volta nella storia dell'umanità, la sua forma matematica:

$$G = g\frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

dove $g$ è la costante di gravitazione universale, $m_1$ e $m_2$ le masse dei corpi fra i quali si esercita la forza e $d$ la loro distanza. Nella relatività generale questa forza, per la prima volta nella storia dell'umanità, trova una spiegazione matematica, nell'ambito di una geometria non-euclidea di tipo riemaniano, come curvatura dello spazio-tempo dovuta all'azione delle masse dei corpi che esercitano questa forza. La forza gravitazionale in questo schema avrebbe dunque una natura completamente diversa da quella, per esempio, elettromagnetica. Non sarebbe cioè legata all'interazione fra i corpi e ad uno scambio di materia (massa–energia) fra i due, ma alla capacità della massa dei corpi di modificare la struttura dello spazio-tempo circostante.

5. Sviluppo della teoria dei sistemi complessi

- La *nuova scienza della complessità.* Tutta la fisica moderna, termodinamica statistica, quantistica e relatività incluse, è percorsa da un evidente ideologia *riduzionista.* Questo «riduzionismo» può mostrarsi sia in senso *sincronico* che *diacronico.* Si mostra in senso *sincronico* se, considerando un sistema fisico nella sua staticità, si pretende che la

dinamica di un sistema complesso possa venir sempre ridotto alla somma delle dinamiche degli elementi semplici componenti. Si mostra in senso *diacronico* se si pretende che lo stato finale di un sistema dinamico sia sempre univocamente determinato dalle sue condizioni iniziali. Questo duplice principio riduzionista è confutato nelle sue pretese assolutistiche dallo studio dei sistemi fisici *irriducibilmente non-lineari* o, appunto, *sistemi complessi*. I principi di questa rivoluzione concettuale erano stati posti alla fine del secolo scorso dalla scoperta di Henri Poincaré sul comportamento *intrinsecamente impredicibile* dei sistemi dinamici «a tre corpi». A partire dalla seconda metà degli anni '60 del XX secolo, grazie alla simulabilità al computer della dinamica di sistemi di questo genere, si è passati allo studio sistematico di questi sistemi. Essi costituiscono, di fatto, dei *modelli* dinamici* di sistemi reali, sia fisici, che chimici, biologici e neurali, ma anche sociali ed economici. Sistemi reali che finora erano sistematicamente sfuggiti — per il riduzionismo che pervadeva la scienza moderna — ai metodi matematici della dinamica classica, che avevano nella *linearità* delle equazioni fondamentali della meccanica newtoniana il loro paradigma.

## 2.3 Termodinamica

### 2.3.1 Termodinamica classica

Carattere reversibile di tutte le equazioni del moto nella fisica newtoniana

Una delle caratteristiche fondamentali dell'approccio newtoniano alla meccanica era la *reversibilità* temporale delle equazioni del moto. Detto in altri termini, nelle equazioni del moto della meccanica, dato un processo che ha portato il sistema nel tempo $t_0 \rightarrow t_1$ da $A$ in $B$, è sufficiente invertire il verso della direzione delle velocità per riportare il sistema da $B$ in $A$, ovvero *esattamente* dov'era a $t_0$. L'*irreversibilità temporale dei fenomeni* — il fatto cioè che sia impossibile tornare indietro nel tempo —, basilare per la nostra esperienza, ma anche, come notava Einstein, basilare per poter parlare più in generale di sistemi fisici che *scambiano informazione,* è qualcosa assolutamente privo di senso per le leggi della meccanica newtoniana. Essendo sistemi perfettamente deterministici e dunque reversibili sul modello dei sistemi geometrici (dalle condizioni iniziali si può passare deduttivamente a quelle finali e viceversa), non esiste alcun aumento o diminuzione dell'informazione nelle modificazioni che li caratterizzano. Potremmo affermare che il cuore dell'opposizione ottocentesca fra *naturalismo* e *storicismo* si trovi tutto in questo punto: il tempo della *natura,* il tempo parametrizzato nelle equazioni della meccanica newtoniana, non è il tempo della *storia,* il tempo dell'esperienza e delle vicende umane.

Si comprende allora lo shock che provocò nella mentalità scientifica e nella cultura filosofica del tempo la scoperta che anche in fisica, più esattamente in *meccanica statistica* — quella branca della meccanica che studia il comportamento di sistemi fisici composti da un gran numero di particelle sulla base dei principi matematici della *teoria delle probabilità* — si danno fenomeni irreversibili. Più esattamente tali fenomeni occorrono tutte le volte che si verificano trasformazioni energetiche. Trasformazione di energia in lavoro o trasformazione di una certa forma di energia (p.es. meccanica) in un'altra forma di energia (p.es., elettrica: si pensi al lavoro di una dinamo), poiché queste trasformazioni sono sempre associate alla produzione di una forma di energia degradata, non più trasformabile in lavoro, cioè in *calore*.

## 2.3.2 Termodinamica statistica

Sviluppo da parte di Boltzmann della meccanica statistica

Questa vera e propria rivoluzione culturale — la prima di una lunga serie che avverranno nella fisica fra la fine del XIX secolo e i primi trent'anni del XX — è opera essenzialmente di un fisico austriaco, Ludwig Boltzmann (1844-1906), uno dei creatori della teoria cinetica dei gas. Grazie a lui e alla sua famosa equazione, l'*equazione di Boltzmann*, la teoria molecolare della materia — il cosiddetto livello *mesoscopico* di studio della materia — è entrata di diritto nello studio della fisica. La sua equazione, basata sull'ipotesi del *caos molecolare,* definisce infatti il comportamento di una collezione di particelle in condizioni di non–equilibrio. Essa afferma in sostanza che, alla variazione di una funzione che esprime la probabilità di trovare una particella in un particolare volume unitario dello *spazio delle fasi** contribuiscono diversi fattori, quali le forze esterne, gli effetti di diffusione e le collisioni fra le particelle.

Applicazione dei principi della meccanica statistica alla termodinamica

Applicando questi principi allo studio dei fenomeni *termodinamici,* dei fenomeni dinamici dove avvengono scambi di calore, egli diede inizio ad una nuova branca della scienza fisica la *termodinamica statistica dei sistemi all'equilibrio* o *termodinamica lineare*. Ciò che, in particolare, portò al risultato che dà il titolo a questa nostra sottosezione è l'applicazione dei principi di meccanica statistica sopra ricordati ad un concetto particolare della termodinamica classica, introdotto a suo tempo dal fisico tedesco Rudolf Emanuel Clausius (1822-1888): il concetto di *entropia*.

## 2.3.3 Nozione di entropia

Per illustrare adeguatamente il concetto di entropia però, occorre prima uno sguardo per quanto sommario alla termodinamica classica — prima cioè della sua interpretazione boltzmaniana all'interno della meccanica

statistica — e all'enunciazione in essa dei primi due principi della termodinamica. Il *primo principio* della termodinamica non è nient'altro che un'espressione del più generale *principio di conservazione dell'energia* nell'ambito dei sistemi termodinamici:

Primo principio della termodinamica: conservazione dell'energia

> *Primo principio della termodinamica:* la quantità di calore $Q$ che un sistema termodinamico scambia con l'esterno è data dalla somma del lavoro $L$ che esso esercita sull'esterno (o che dall'esterno si esercita sul sistema) e dalla variazione dell'energia interna $U$ del sistema stesso[41].

Il secondo introduceva già nella sua formulazione classica, data per la prima volta da Clausius stesso, un qualche tipo di irreversibilità. Nella sua formulazione esso infatti asserisce che

Secondo principio della termodinamica nella sua versione classica (Clausius)

> *Secondo principio della termodinamica* (postulato di Clausius): se il calore fluisce per conduzione da un corpo A ad un corpo più freddo B, allora è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia far passare del calore in senso inverso, cioè da B ad A[42].

---

[41] In termini più intuitivi, data una trasformazione termodinamica ciclica in cui il sistema torna allo stato iniziale (p.es., un ciclo completo di una macchina a vapore) la quantità di lavoro esercitata dal sistema $L$ (p.es., il giro completo dello stantuffo della nostra vaporiera), pagata nei termini della diminuzione dell'energia interna $U$ (p.es., la diminuzione della pressione del vapore nella caldaia), dev'essere compensata da una quantità $Q$ di calore immessa nel sistema (p.es., attraverso la combustione nella fornace della caldaia), in base alla relazione $L = JQ$, dove $J$ è un'unità di calore o caloria espressa in unità energetiche (joule). Ciò naturalmente è legato al fatto che il calore è una forma d'energia, anzi per il secondo principio, la forma più universale di energia, cui tutte le altre si riducono.

[42] Questa proprietà del calore — che in pratica afferma che è impossibile «far rientrare» tutto il calore emesso da una sorgente nella sorgente stessa — è fondamentale per la realizzazione di tutti i sistemi di raffreddamento, in quanto è legata all'altra proprietà del calore rispetto allo spazio: quella di preferire fra tutte le direzioni del moto quelle centrifughe. In altri termini, il calore rende *anisotropo** lo spazio intorno a sé per tutti i fenomeni dinamici ad esso associati: rende infatti alcune direzioni del moto *preferenziali* rispetto alle altre (per questo, p.es., in tutti i sistemi di dispersione di calore, di raffreddamento ad aria di un macchina e/o di riscaldamento di un ambiente, si moltiplicano gli spigoli della superficie irradiante). Vedremo nella Seconda e nella Terza Parte quanto questa proprietà del calore, ben nota empiricamente anche agli antichi, fosse importante per Aristotele, attento osservatore della natura, in particolare biologica, essendo la vita degli organismi strettamente associata a scambi di calore con l'ambiente. Per lui era proprio la presenza irriducibile del calore in tutta la natura fisica non solo organica, con la sua proprietà di rendere anisotropo lo spazio, il motivo *fisico* per ripudiare l'uso platonico–pitagorico della geometria nello studio degli enti naturali. E, allo stesso tempo, era il motivo per affermare, su basi puramente fisiche, la presenza di una *causalità finale* che introduceva delle irreversibilità e delle direzioni preferenziali del moto dei corpi fisici terrestri. Era proprio questa proprietà che differenziava per Aristotele i moti dei corpi terrestri da quelli celesti. Essi, per la loro presunta circolarità erano *reversibili,* sempre uguali a se stessi, dotati cioè di fondamentali *simmetrie,* e quindi rappresentabili e predicibili matematicamente, come già nell'Antichità si sapeva fare, fin dall'astronomia assiro–babilonese ed egizia.

Nell'altra formulazione classica, equivalente, del secondo principio, dovuta a Lord William Thomson Kelvin (1824-1907), il calore è considerato una forma degradata di energia, in quanto è impossibile *una trasformazione completa* del calore in lavoro. Ovvero, nella formulazione di Lord Kelvin del secondo principio si afferma che:

Secondo principio della termodinamica nella sua versione classica (Kelvin)

> *Secondo principio della termodinamica* (postulato di Kelvin): è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia la trasformazione in lavoro di calore tratto da un'unica sorgente a temperatura uniforme[43]

Se dunque si prende l'entropia $S$ nella definizione di Clausius, come quantità che misura il rapporto fra una variazione infinitesima della quantità di calore $dQ$ e la temperatura assoluta $T$:

Definizione della nozione di entropia

$$S = \int \frac{dQ}{T}$$

è chiaro che la quantità $S$ non varierà in ogni trasformazione reversibile, in ogni trasformazione cioè in cui il sistema riceverà sufficiente calore da una seconda sorgente per ritornare alle condizioni iniziali. Viceversa, in un sistema termodinamico isolato, lasciato a se stesso, dove non c'è aggiunta di calore dall'esterno del sistema, la quantità $S$ aumenterà irreversibilmente.

Applicazione alla termodinamica dei principi della meccanica statistica per lo studio del livello mesoscopico della struttura della materia

Tutto questo ha ricevuto una spiegazione più che convincente attraverso l'interpretazione statistica della termodinamica e delle sue leggi dovuta a Boltzmann. In tale interpretazione, nell'analisi *mesoscopica* dei sistemi fisici — a livello cioè di comportamento di aggregati molecolari e/o atomici —, le *variabili di stato* tipiche dei sistemi termodinamici, *volume*, $V$, *pressione* $P$ e *temperatura* $T$, assumono un significato statistico ben preciso in termini di grandezze statistiche associate al moto del grandissimo numero di particelle che compongono il sistema. Così, per esempio nel caso di un gas in un recipiente, la pressione $P$ sarà proporzionale al numero medio degli urti delle particelle sulle pareti del recipiente, come pure la temperatura $T$ sarà proporzionale alla velocità media con cui le particelle del gas si muovono. Aumentando la temperatura $T$, si aumenterà la velocità media delle molecole e quindi aumenterà anche la pressione $P$, perché aumente-

[43] Ovvero, «non è possibile costruire una macchina il cui unico risultato consista in produrre lavoro assorbendo calore da un'unica sorgente». P.es., parte del calore e dell'energia prodotta da una macchina a vapore non si trasformeranno in lavoro, ma si disperderanno sotto forma di irraggiamento termico, oppure si trasformeranno in attriti ed in conseguente degrado irreversibile del mezzo meccanico, etc. In altri termini: nessun processo fisico reale è completamente *reversibile*. In ogni trasformazione fisica (di energia in lavoro o in altre forme di energia) c'è sempre una qualche produzione di calore, ovvero di energia degradata non più trasformabile in lavoro.

rà anche il numero medio degli urti che le molecole del gas avranno con quelle che formano la superficie interna del recipiente.

Se invece non esiste fonte esterna di calore, attraverso i loro urti, le particelle che compongono il sistema si equipartiranno progressivamente l'energia cinetica disponibile fino a far degradare completamente l'energia $U$ totale del sistema[44] che raggiungerà così lo stato di energia minima o «stato di equilibrio» che sarà costituito dal numero *massimo* di configurazioni possibili del sistema.

Misura statistica dell'entropia.

Di qui la *misura statistica di entropia* definita da Boltzmann come:

$$S = k \log \pi$$

dove $k$ è la costante di Boltzmann[45] e $\pi$ la probabilità di uno stato del sistema, definita come il numero delle possibili configurazioni che danno origine allo stesso stato termodinamico.

Nel caso dell'interpretazione boltzmaniana, ciò che si sta affermando è che un sistema termodinamico isolato va nella direzione di un aumento del *disordine globale del sistema*[46] e, dato il carattere irreversibile del processo, lo stato finale disordinato — o stato di massima entropia o di minima

---

[44] All'interno di $U$, cioè, diminuirà l'energia *libera* $F = U - TS$ (dove $T$ è la temperatura assoluta), il calore che può essere trasformato in lavoro. Tale energia dipende appunto dal fatto di non essere equidistribuita fra le particelle del sistema, dalla presenza cioè di una differenza di potenziale, nel nostro caso, dalla presenza di una chiara distinzione fra particelle «calde» e «fredde», dinamicamente, «veloci» e «lente». In base alla suddetta formula di $F$, appare infatti chiaro che, a temperatura assoluta $T$ costante, più aumenta $S$, più diminuisce $F$, cioè la parte di energia non-degradata dell'energia totale $U$.

[45] Essa è una delle *costanti fondamentali della natura* e vale $k = 1.380662 \approx 10^{-23}\ J\,K^{-1}$, ha dunque le dimensioni di un'energia minima rapportata alla quantità di calore.

[46] Bisogna intendersi qui sul termine «disordine». Prendiamo il caso del classico esperimento di due cilindri perfettamente isolati termicamente dall'esterno, ma comunicanti fra di loro attraverso un condotto, e contenenti un gas di molecole, l'uno ad alta temperatura, l'altro a bassa temperatura. In tal caso all'inizio del processo, il numero delle configurazioni possibili del moto delle particelle del sistema totale era limitato. Erano così sufficienti due soli set di equazioni, per rappresentare le uniche due configurazioni di moto possibili del sistema: particelle «veloci» (calde) e particelle «lente» (fredde). In questo stato, il sistema globale possiederà il massimo di *ordine* (due sole configurazioni possibili) ed il massimo di energia libera, data dalla differenza di potenziale termico fra i due recipienti. Man mano però che, a causa della comunicazione fra i due recipienti, gli urti fra particelle calde e fredde aumentano, le particelle «veloci» e «lente» tenderanno sempre più ad equidistribuirsi fra i due recipienti che tenderanno a raggiungere la medesima temperatura, T, media delle due iniziali. In tal modo, diminuirà l'energia libera $F$ del sistema, le configurazioni disponibili aumenteranno, al limite diverranno una per ciascuna della miriade di particelle che compongono il sistema. Da un sistema ordinato con pochissimi gradi di libertà, si è passato ad un sistema a moltissimi gradi di libertà, quindi disordinato, casuale. Il massimo di entropia sarà toccato quando il sistema avrà raggiunto lo stato di equilibrio e le particelle si saranno equidistribuite casualmente (probabilità ½) fra i due contenitori.

energia libera o «morte termica» del sistema — sarà definito come lo stato più probabile cui *ogni sistema termodinamico irreversibilmente tenderà*. Nel linguaggio più generale della meccanica statistica, tale stato finale — o *attrattore** della dinamica — sarà quello cui tenderà ogni sistema fisico macroscopico composto da un numero grandissimo di particelle (molecole o atomi), purché sia dato al sistema un tempo sufficiente per raggiungerlo (= *limite termodinamico*). Di qui la formulazione del *secondo principio della termodinamica* in termini di meccanica statistica (formulazione di Boltzmann):

Secondo principio della termodinamica nella versione di Boltzmann

> *Secondo principio della termodinamica:* ogni sistema fisico isolato tende a trasformarsi in modo che aumenti la propria entropia, cioè il disordine delle sue componenti.

È chiaro che, in questa formulazione più generale, il secondo principio va a toccare il significato realistico degli stessi principi della meccanica classica, non solo introducendo in essi un'irreversibilità, ma indicando come *legge universale* di tutti i sistemi fisici — universo fisico compreso, nella misura in cui va inteso come sistema fisico isolato — un suo irreversibile destino verso il disordine e la «morte termica».

Conseguenza filosofica: fine del mito illuminista del progresso

A livello di mentalità culturale, comunque, credo non vi potesse essere shock più profondo della formulazione statistica del secondo principio della termodinamica per distruggere, d'un sol colpo, tutto il mito scientista dell'idea illuminista di progresso, come destino stesso del *mondo fisico*, prima che umano, destino fondato sull'ottimismo della ragione «illuminata» dalla scienza. Il destino dell'universo invece che quello di un indefinito progresso, predicato dagli illuministi e, nelle scienze biologiche, da teorici dell'evoluzionismo come Lamarck e Spencer, è quello del disordine e della morte termica!

L'esempio di Nietzsche

Non è casuale che il profeta più conosciuto della *crisi dell'ottimismo razionalista classico e moderno,* Friedrich Nietzsche, sia stato un attento studioso proprio della termodinamica boltzmaniana. E forse non è un caso che i tre più lucidi «profeti», Cantor, Boltzmann, e Nietzsche stesso, della «crisi delle scienze europee» — come più tardi la definirà Husserl (Husserl 1954), in quanto crisi di un'epoca stessa, quella della strumentalizzazione razionalista e scientista della scienza — siano tutti e tre morti abbandonati nella più terribile delle solitudini, e con gravi disturbi mentali. Siamo in presenza di un dramma umano oltre che culturale, che questi grandissimi vissero sulla loro pelle prima di altri, perché compresero prima di altri ciò che stava succedendo. Un dramma dell'assenza di certezze assolute — né quelle «metafisiche» dell'età classica, né quelle «scientifiche» dell'età moderna — che oggi, diversamente da allora, investe larghi strati della cultura e della mentalità contemporanee.

Tornando alla nascita della termodinamica moderna — tanto per completare il quadro anche con il *terzo principio della termodinamica* — se introduciamo considerazioni di meccanica quantistica (fisica sub–atomica), cioè andiamo a considerare lo stato di equilibrio di un atomo — o stato fondamentale di esso —, poiché tale stato è costituito da *una sola possibile configurazione* — tutti gli elettroni si trovano al livello di energia più basso di quelli consentiti — tale stato di equilibrio sarà caratterizzato da uno stato *di minima entropia* o di *massimo ordine.* Ora, tutta la materia allo zero assoluto (–273 °C o 0 °K) *cristallizza* di modo che tutti i suoi atomi componenti vanno allo stato fondamentale. Allo stesso tempo, però, man mano che la temperatura scende, anche la variazione di entropia $\Delta S$ diminuisce in una proporzione molto maggiore. Quindi, in armonia con i due principi suddetti, può essere definito anche il *terzo principio della termodinamica.* Esso fu formulato per la prima volta, nel 1906, dal fisico-chimico tedesco Walther Herman Nernst (1864-1941), che per questo ricevette il Nobel per la chimica nel 1920.

Terzo principio della termodinamica

> *Terzo principio della termodinamica.* Allo zero assoluto la differenza di entropia ΔS tra tutti gli stati di un sistema che sono in equilibrio termico è nulla. Ciò significa affermare l'irraggiungibilità dello zero assoluto da parte di un sistema fisico, in un tempo comunque finito.

L'ultimo capitolo, però, nella recente storia della termodinamica moderna non è quello del teorema di Nernst, alla base del terzo principio appena ricordato. L'ultimo capitolo riguarda i sistemi termodinamici «non-isolati» o *aperti* (von Bertalannfy 1965) — che scambiano cioè energia e materia con l'esterno, come la gran parte dei sistemi chimici e la totalità dei sistemi viventi.

## 2.3.4 Stabilità fuori dall'equilibrio

Termodinamica dei sistemi stabili fuori dall'equilibrio: termodinamica dei viventi

Questi di cui stiamo parlando sono sistemi che, *consumando «energia» dall'ambiente, producono ordine, «informazione» al loro interno*, opponendosi così, per quanto limitatamente e provvisoriamente, al destino del decadimento entropico comune a tutti i corpi fisici composti. Generalmente questi sistemi, esistenti in natura, sono caratterizzati da un'alta *non-linearità*, a differenza dei sistemi termodinamici studiati dall'approccio statistico classico boltzmaniano, che sono sistemi rarefatti, quali appunto i gas e i fluidi assai poco densi. Ebbene lo studio delle stabilità *fuori dall'equilibrio termodinamico* in questi sistemi, sta svelando alla scienza nuove forme di ordine *dinamico*, ben diverso da quello *geometrico*, «morto» della materia cristallizzata allo zero assoluto di cui ci parla il terzo principio della termodinamica. Ilya Prigogine (1917- ), Premio Nobel per la chimica nel 1977, ha dato il nome di *strutture dissipative* a queste forme di organizzazione della

materia a livello *mesoscopico*. Si tratta di strutture che organizzano e mantengono il loro ordine interno, indipendentemente dalle condizioni iniziali, dissipando calore e quindi consumando energia dall'ambiente (Prigogine & Stengers 1979; Prigogine 1981).

Conferma clamorosa di questi principi nelle recenti scoperte sul genoma umano

Certamente queste scoperte permetteranno di scrivere nuove e più convincenti pagine nella storia della nozione di *evoluzione* in biologia, trovando nei principi *dell'instabilità dinamica* (Cfr. § 2.6.1, pp.142ss.) dei meccanismi fisico–molecolari di variazione del corredo genetico degli organismi molto più efficaci e fisicamente attendibili dell'assai poco realistico meccanismo stocastico di mutazione casuale, tipico dell'approccio darwinista alla selezione naturale (Kauffman 1992; 1995; 2000). La recentissima scoperta, datata febbraio 2001, del numero limitato di geni (ca. 30.000) nel genoma umano e quindi del ruolo preponderante che le dinamiche non-lineari di sintesi molecolare delle proteine hanno nell'organizzazione del vivente confermano in maniera clamorosa i principi appena ricordati. Essi ridicolizzano definitivamente quanto poteva ancora rimanere del vecchio modello «lineare» nel concepire l'informazione biologica. Quello che sosteneva che tutta l'informazione dell'organismo è nei geni, nelle condizioni iniziali del processo dinamico dell'ontogenesi, quasi che i geni fossero assimilabili ai «programmi» dei nostri computer.

D'altra parte questi modelli non–lineari risulteranno tanto più scientificamente significativi, quanto più si svilupperà un *nuovo formalismo matematico* adatto a trattare i sistemi non-lineari in quanto tali. Ma su questi temi torneremo brevemente, dal punto di vista delle scienze fisiche, in § 2.6 dove parleremo dei *sistemi complessi*, e molto più diffusamente vi torneremo nella Parte Quarta, dal punto di vista delle scienze biologiche e nella Parte Quinta, dal punto di vista delle scienze cognitive e delle basi neurali delle attività mentali.

## 2.4 Meccanica quantistica

Studio del livello microscopico delle strutture della materia

Un ulteriore ridimensionamento della meccanica classica si è avuto al livello dello studio delle strutture *microscopiche* della materia di cui tutti gli enti fisici sono fatti. Tali strutture si incontrano quando si va oltre il livello mesoscopico, «dentro» la struttura di atomi e molecole, per grandezze che sono dell'ordine da $10^{-8}$ cm (un centomilionesimo di centimetro: il diametro dell'atomo di idrogeno) in giù.

### 2.4.1 Principio di quantizzazione

La rivoluzionaria scoperta del principio di quantizzazione di Planck e le sue prime conferme

Questa rivoluzione concettuale ha una data che coincide con quella dell'inizio del XX secolo — o più esattamente della fine del secolo XIX: il 1900. In quell'anno, più esattamente il 14 dicembre, parlando ad una riunione della Società Tedesca di Fisica, Max Planck (1858-1947) affermò che ci si poteva liberare dai paradossi della teoria classica dell'emissione-assorbimento della luce da parte dei materiali, se si ammetteva *che l'energia raggiante poteva esistere solo sotto forma di pacchetti discreti* che egli definì *quanti di luce.*

La scoperta di Einstein dell'effetto fotoelettrico

Tale ipotesi fu confermata nel 1905 dalla scoperta *dell'effetto fotoelettrico* da parte di Albert Einstein (1879-1955). Tale effetto consisteva nell'emissione di elettroni da parte di superfici metalliche irraggiate di luce violetta e ultravioletta, che poteva essere spiegato solo ammettendo una natura quantizzata della radiazione elettromagnetica, l'esistenza cioè di *fotoni,* o quanti elementari di energia elettromagnetica. D'altra parte, l'esistenza di fotoni poteva essere dedotta direttamente, nella teoria della relatività ristretta, dal principio della velocità finita della propagazione delle onde elettromagnetiche (luce). In ogni caso anche Einstein, per questa scoperta che confermava la teoria di Planck — e non per la teoria della relatività! —, ricevette nel 1921 il Premio Nobel per la fisica.

La scoperta dell'effetto Compton

Un altro successo che determinò l'affermarsi definitivo dell'ipotesi di Planck fu la scoperta del cosiddetto *effetto Compton,* dal nome del suo scopritore, il fisico americano Artur Holly Compton (1892-1962), Premio Nobel per la fisica nel 1927. Tale effetto consiste nella diffusione di raggi X da parte degli elettroni di un determinato materiale (paraffina). La rivoluzionaria scoperta di Compton è che tale fenomeno può spiegarsi solo se si interpreta l'urto della radiazione elettromagnetica ad alta frequenza (raggi X) con l'elettrone, come urto elastico di due particelle. Come se, cioè, la luce fosse composta di particelle senza massa, i «quanti di luce» di Planck appunto, cui per la prima volta Compton attribuì il nome di *fotoni.*

### 2.4.2 Atomo di Bohr

Il modello semi-classico di atomo costruito da Bohr

Il quadro delle conferme della scoperta di Planck fu completato quando, nel 1913, il fisico danese Niels Bohr (1885-1962) applicò quest'ipotesi di quantizzazione al modello di atomo dotato di una struttura interna, scoperto dal fisico neozelandese Ernest Rutherford (1871-1937). Un atomo, cioè che non è più la sferetta di materia omogenea, elementare, indivisibile, degli atomisti antichi e moderni, ma è dotato di *struttura,* è composto esso stesso. È costituito, cioè:

- Da un centro di massa, il nucleo, dov'è concentrata quasi tutta la massa dell'atomo e che è dotato di carica elettrica positiva;
- Da un insieme di particelle, gli elettroni, ruotanti attorno al nucleo come pianeti intorno al sole, di massa globale molto più piccola del nucleo e dotati di carica negativa.

L'apporto fondamentale di Bohr fu di supporre che questi «orbitali» fossero *discreti*. Ovvero, a differenza del sistema planetario, solo alcune orbite erano consentite così che gli elettroni, potessero ricevere energia dall'esterno solo a pacchetti discreti, quindi per valori ben definiti, e non in forma continua.

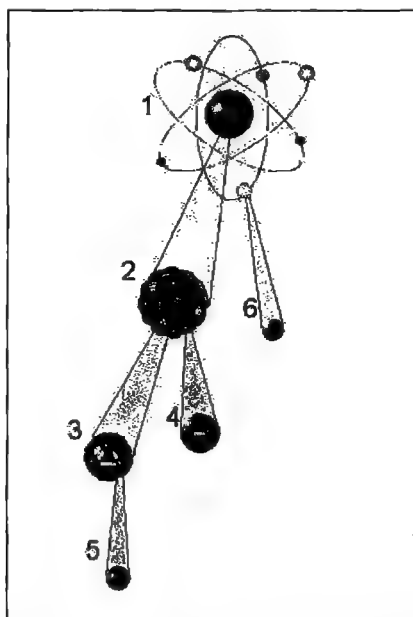



Figura 2-1. Quest'immagine sintetizza bene la storia della nozione moderna della struttura dell' «atomo», a partire dall'iniziale modello planetario di Bohr–Rutheford (1). In essa il nucleo era concepito come una particella elementare. Solo dopo, si scoperse che esso aveva a sua volta una struttura, era composto di *protoni e neutroni* (2). Ognuno di questi era composto a sua volta di tre *quark* (3), mentre altri abitatori del nucleo, i *gluoni* erano composti da due *quark* (4). Viceversa, *quark* (5) ed *elettroni* (6) risultano a tutt'oggi essere *particelle elementari*, non composte a loro volta. Delle altre puntate della storia della struttura dell'atomo ci interesseremo nella Parte Terza.

Carattere «quantico» degli orbitali dell'atomo di Bohr e primi successi:

In tal maniera, ciascuno di essi poteva «saltare» all'orbitale di livello più alto, per poi ridiscendere ognuno al proprio posto o «stato fondamentale» rimettendo, sempre in forma quantizzata, l'energia ricevuta, secondo il caratteristico *spettro* diverso per ciascun tipo di atomo e quindi di materiale. Attraverso l'idea degli orbitali quantizzati, Bohr ottenne tre eccezionali risultati:

1. Dare coerenza al modello di Rutheford

- *Dare coerenza al modello di Rutherford.* Infatti, senza la quantizzazione degli orbitali, non si capiva perché gli elettroni, essendo di carica elettrica opposta al nucleo, perdendo di velocità, non «cadessero su di esso», attirati dal nucleo medesimo. Proprio come farebbe un satellite in orbita intorno alla terra che perdesse velocità: comincerebbe a percorrere con continuità orbite a spirale sempre più stretta intorno alla terra, finché, catturato dalla sua forza gravitazionale, ricadrebbe su di essa.

2. Dare una spiegazione allo spettro proprio emesso da ciascun materiale

- Dare una spiegazione, almeno iniziale, del perché ogni tipo di atomo è caratterizzato da uno specifico *spettro discreto di emissione elettromagnetica*, quando l'atomo stesso viene «bombardato» di energia «disordinata» (calore) dall'esterno[47]. Si può dire che l'atomo così aggiunge «ordine» all'energia ricevuta e che esso riemette sotto forma di energia elettromagnetica dotata di frequenze caratteristiche (luce colorata, nello spettro del visibile), un ordine che fornisce al fisico informazione essenziale della sua struttura ordinata interna.

3. Dare una spiegazione della Tavola Periodica degli elementi in chimica

- Dare spiegazione, almeno iniziale, alla *periodicità delle proprietà* degli elementi chimici, già scoperta e descritta, ma non ancora spiegata dal chimico russo Dmitrij Mendelejev (1834-1907) con la sua famosa *tavola periodica degli elementi.*

Con la scoperta di Bohr, che fu solo la prima di una serie di altre di fisica nucleare e sub-nucleare, ben maggiori, durante i primi trent'anni del XX

---

[47] Un effetto noto a tutti di questo fenomeno si ha nelle lampade che contengono al proprio interno vapori, p.es., di neon o di sodio. Il gas di molecole viene bombardato in queste lampade da scariche di energia elettromagnetica disordinata (calore) — la corrente alternata della linea, anche se aumentata di frequenza, rispetto ai 50Hz usuali della rete elettrica, per evitare l'effetto visivo di sfarfallamento. Durante la fase positiva l'atomo riceve la scarica elettrica sotto forma di pacchetti d'onda discreti, in base al principio di quantizzazione. Gli elettroni «saltano» così tutti all'«orbitale» («livello di energia» nel modello ondulatorio di Schrödinger: § 2.4.6) superiore. Durante la fase negativa in cui l'atomo non riceve la scarica, esso riemette il pacchetto di energia, ricevuto durante la fase positiva. E la riemette in forma ordinata, con una data lunghezza d'onda in base al tipo di atomo, così che l'emissione acquista la tipica colorazione «bluastra», se è lampada al neon, «gialla», se è lampada al sodio. Gli elettroni, intanto, ritornano allo stato fondamentale per essere pronti a «risaltar su» alla successiva immissione di energia, e così via per centinaia di volte al secondo.

secolo, scoperta per la quale egli ottenne nel 1922 il Premio Nobel per la fisica, l'ipotesi di Planck ottenne la sua conferma iniziale più clamorosa, dopo quelle dell'effetto fotoelettrico e dell'effetto Compton. Soprattutto la scoperta di Planck mostrò di avere delle conseguenze che andavano ben al di là di quanto il suo stesso autore sospettasse.

La rivoluzionarietà della scoperta di Planck: fine del mito della divisibilità all'infinito della materia.

Non sfugga la rivoluzionarietà di questa nuova scoperta. Mediante l'applicazione sistematica della nozione di quanto d'azione alla fisica che studia le strutture fondamentali della materia atomica e sub-atomica, un altro principio della filosofia moderna della natura veniva smantellato, quello della *divisibilità all'infinito* della materia fisica[48]. Una proprietà, invece, che aveva fatto porre a Descartes l'identificazione fra materia fisica ed estensione geometrica, la cosiddetta *res extensa*, come la seconda delle sue «idee chiare e distinte» — essendo la prima l'idea della *res cogitans*. L'identificazione di materia fisica ed estensione geometrica — ovvero l'affermazione anti–aristotelica che la materia fisica era divisibile all'infinito come l'estensione geometrica — era, insomma, il secondo dei pilastri su cui Descartes intendeva fondare la nuova filosofia moderna della natura, dopo la nascita della nuova scienza galileiana della natura.

Come nel caso delle irreversibilità, ingrediente fondamentale della spiegazione della struttura mesoscopica della materia dei corpi fisici (Cfr. nota 42), anche in questo caso, che riguardava la struttura microscopica della materia dei corpi fisici, era un altro assioma della filosofia aristotelica della natura a dover essere rivalutato. Quello, appunto, che affermava che materia fisica ed estensione geometrica non erano identificabili, innanzitutto — ma non solo — perché la prima, a differenza della seconda, non è divisibile all'infinito.

Base scientifica della teoria dei *minimi naturali* e dunque della nozione di *specie* nella fisica

Per ciascun tipo di materiale esistono infatti, nella visione aristotelica, delle *grandezze minime naturali* (*minima naturalia*) che caratterizzano le proprietà dinamiche del materiale stesso, il suo modo cioè di interagire con il resto dell'universo fisico e quindi anche di manifestarsi alla conoscibilità da parte dell'uomo. Di questa nozione metafisica della filosofia della natura aristotelica, fondamentale per dare una base empirica alla distinzione di *varie specie* di elementi e quindi di corpi, contro l'atomismo geometrico in cui tutti gli elementi erano senza distinzione qualitativa, l'assioma di quantizzazione di Planck, e il conseguente schema discreto di emissione elettromagnetica degli atomi, offre la base per una sua ver-

---

[48] È chiaro che il principio di quantizzazione, si applica innanzitutto alla materia nelle sue manifestazioni come *energia*. Ma, dopo l'applicazione alla meccanica quantistica del principio-base della relatività ristretta della convertibilità *massa–energia per velocità prossime a quelle della luce* — quelle, appunto, cui le particelle sub-atomiche generalmente si muovono —, il principio della quantizzazione è estensibile anche alle manifestazioni della materia fisica come *massa*.

sione *operazionale**, quantificata e dunque calcolabile. Questo dato empirico sarà confermato in sede fondazionale, quando esamineremo la comune struttura causale di fondazione della distinzione fra varie specie di elementi e quindi di corpi (non-viventi e viventi) nella fisica quantistica e in quella aristotelica (Cfr. *infra*, § 5.4.4, spec. pp. 352ss.).

La costante di Planck come costante fondamentale della natura

Tutte le grandezze fondamentali della materia a livello microscopico sono, dunque, dei multipli dell' $h$ di Planck. In altri termini, Planck ha introdotto nella fisica moderna un criterio di quantizzazione che ha dato luogo alla nascita di una nuova *costante fondamentale della natura*, la costante più misurata, finora, che esi: la costante di Planck:

$$h = 6.626176 \times 10^{-34}\ \mathrm{J/sec}$$

Essa può essere definita come il rapporto tra l'energia di un fotone e la sua frequenza, o, più propriamente, come *quanto elementare d'azione*. Infatti, come si vede dalla sua definizione matematica, $h$ ha la dimensione di un'azione, di un'energia nel tempo. Possiamo dunque definire il seguente

> *Principio di quantizzazione*. Ogni grandezza fisica, in particolare ogni grandezza dinamica o intensità di un'energia $E$, è un multiplo intero $n$ di $h$, secondo la relazione: $E = \hbar\nu \times n$ ,

dove $\hbar$ («h tagliato», si legge) è $h/2\pi$, ovvero $h$ rinormalizzato sulla circonferenza, e $\nu$ è la frequenza dell'onda associata all'intensità dell'energia $E$.

## 2.4,3 Principio d'indeterminazione

Fine del mito della precisione assoluta nelle misurazioni e/o nelle osservazioni.

Il fatto che nella fisica *microscopica* valesse un criterio di quantizzazione o di discretizzazione della materia, introduceva, però, un altro cambio di prospettiva nella filosofia della natura associata alla scienza moderna. Immediatamente veniva posto in crisi l'ideale del «demone di Laplace». L'ideale cioè di una visione determinista della natura, basata sulla meccanica, e legata ultimamente alla supposizione che *la precisione delle misurazioni* — in particolare la precisione con cui si definiscono le *condizioni iniziali* del moto di una particella, la sua «posizione», $q$, e la sua «quantità di moto», $p$ — possa essere *sempre e comunque incrementata a piacere*.

Ed, infatti, la seconda rivoluzione concettuale, susseguente alla prima dell'introduzione del criterio di quantizzazione nella fisica microscopica, fu la definizione nel 1927, ad opera di un giovane fisico tedesco, Werner Heisenberg (1901-1976), di un ulteriore nuovo assioma vigente nella meccanica quantista e che la distingue dalla meccanica classica. Si tratta del cosiddetto *principio d'indeterminazione*.

Per illustrarlo, partiamo da un classico «esperimento di pensiero» da Heisenberg stesso proposto. Immaginiamo di dover seguire la traiettoria che un elettrone percorre nelle sue orbite intorno al nucleo, secondo il modello semi–classico dell'atomo di Rutheford–Bohr appena illustrato. Quando lavoriamo a distanze dell'ordine quantistico (dell'ordine dei $10^{-8}$ cm, il diametro dell'orbita dell'elettrone intorno al nucleo dell'atomo d'idrogeno), la «luce» di cui mi devo servire per «illuminare» la posizione di un elettrone in un atomo — p.es., illuminando di lampi di luce sempre più ravvicinati diversi punti della sua traiettoria — modificherà necessariamente la quantità di moto (velocità) dell'elettrone stesso, che comincerà a procedere a «salti». Infatti, la più piccola quantità di energia con cui si potrà illuminare la suddetta traiettoria sarà uguale a $h\nu$, che corrisponderà ad un'energia comunicata alla particella pari a $h\nu/c$, dove $c$ è la velocità della luce. Quindi l'imprecisione risultante nella determinazione della quantità di moto $p$ dell'elettrone sarà del medesimo ordine, e cioè: $\Delta p \approx h\nu/c$. Viceversa, se si vuole evitare questa distorsione, dovrò accontentarmi di un'indeterminazione nella posizione: dovrò dare cioè un «illuminazione» meno frequente. Tale imprecisione, nell'uno o nell'altro caso, non potrà mai essere comunque inferiore ad $h$.

Il principio d'indeterminazione di Heisenberg

*Principio d'indeterminazione.* Il prodotto delle incertezze con le quali sono note una grandezza e la sua coniugata (p.es., posizione e quantità di moto) non sarà mai inferiore ad $h$: $\Delta p \Delta q \geq h$

Per convincerci di tutto questo, seguiamo il Premio Nobel George Gamow (Gamow 1980, 112ss.) in una semplice dimostrazione di come il principio d'indeterminazione produca effetti notevoli a livello di *fisica microscopica* e non a livello di *fisica macroscopica.* Questo giustifica perché debba essere inserito, con quello di quantizzazione da cui deriva, fra i principi della meccanica quantistica e non fra quelli della meccanica classica (newtoniana). Facciamo comparire nella formula matematica precedente, al posto della quantità di moto $m \times v$, direttamente le velocità, in modo da porre in evidenza la massa $m$, e quindi il fatto che il principio vale solo per masse piccolissime. In tal modo, la suddetta relazione d'indeterminazione di Heisenberg diviene:

$$\Delta v \Delta q \cong \frac{h}{m}$$

La sua rilevanza nel mondo degli eventi microscopici

Così, per esempio, se prendiamo una massa di 1 mg. ($10^{-3}$ g), approssimativamente quella di un pallino di un fucile da caccia — una massa e-

norme rispetto a quella di un elettrone che è circa di $10^{-27}$g — otteniamo la relazione[49]:

$$\Delta v \Delta q \cong \frac{h}{m} = \frac{10^{-27}}{10^{-3}} = 10^{-24}$$

che può essere soddisfatta, p.es., prendendo:

$$\Delta v \approx 10^{-12} \text{cm/sec}; \quad \Delta q \approx 10^{-12} \text{cm}$$

Il che significa che l'errore con cui possiamo misurare la velocità del nostro pallino di piombo è inferiore a 0,3 m in un secolo, mentre l'indeterminazione della sua posizione è paragonabile alla grandezza di un nucleo atomico. Se prendiamo, però, invece del nostro pallino da caccia, un elettrone la cui massa è, lo ripetiamo, $10^{-27}$ grammi, allora:

$$\Delta v \Delta q \approx \frac{10^{-27}}{10^{-27}} \approx 1$$

Ora, poiché dire che un elettrone si muove all'interno dell'atomo significa che la variazione del suo spostamento può essere al massimo quella del raggio dell'atomo stesso, quindi $\Delta q \approx 10^{-8}$ cm, allora l'indeterminazione della velocità diviene del medesimo ordine, ovvero:

$$\Delta v = \frac{1}{10^{-8}} = 10^{8} \text{cm/sec}$$

che è un indeterminazione enorme, dell'ordine dei milioni di metri al secondo.

[49] Attenzione: nella formula sottostante, l'ordine di grandezza di $h$ è di $10^{-27}$, perché, seguendo Gamow, preferiamo qui esprimere la grandezza di $h$ in termini di erg/sec, e non di J/sec (1 erg = $10^{-7}$ J) come nella formula, corretta di pagina 115, dove l'ordine di grandezza di $h$, era, appunto, di $10^{-24}$. Il motivo di tale trasformazione è solo intuitivo. Siccome qui, per facilitare la comprensione, stiamo parlando in termini di centimetri e milligrammi, è meglio usare l' «erg», come unità di misura dell'energia (o lavoro), piuttosto che il «Joule», malgrado l'uso dell'erg sia proibito dalle convenzioni internazionali fin dal 1979. Infine è non poco significativo il fatto che, come appare immediatamente prima nel testo, $10^{-27}$ è l'ordine di grandezza anche della massa dell'elettrone espressa in grammi.

### 2.4.4 Principio di esclusione

Spiegazione della periodicità degli elementi attraverso la distribuzione degli elettroni negli orbitali

Ma le sorprese non erano finite. In base alle scoperte di Bohr, la distribuzione periodica delle proprietà chimiche nella Tavola degli Elementi è legata a come gli elettroni si distribuiscono nei vari livelli di energia (orbitali) intorno al nucleo. Una delle proprietà più interessanti è che, mentre le dimensioni esterne dell'atomo sono più o meno sempre le stesse, il numero degli orbitali atomici varia moltissimo: p.es., si può andare dal solo elettrone dell'atomo d'idrogeno, ai ben 92 dell'uranio 238. Quindi, con l'aggiunta di sempre nuovi elettroni, i volumi occupati dai vari stati quantici (i diversi orbitali) si contraggono, ma il numero degli stati occupati dai diversi elettroni aumenta, così che il diametro esterno dell'atomo resta approssimativamente lo stesso.

La scoperta di Pauli del momento angolare intrinseco dell'elettrone (spin elettronico)

Il problema allora è quello di trovare un meccanismo per cui gli elettroni non vadano ad ammassarsi tutti al livello energetico minimo, non vadano tutti cioè ad occupare «l'orbitale» più interno. Ciascun stato quantico o «livello energetico», corrispondente ad un «orbitale» di Bohr, veniva connotato mediante *tre numeri quantici*. Un'ipotesi originariamente perfettamente plausibile con il fatto che il modello di atomo di Bohr si sviluppava effettivamente su tre dimensioni. In base ad alcuni esperimenti (il cosiddetto *effetto–Zeèman*, ovvero lo scindersi delle righe spettrali dell'atomo in base a campi magnetici molto forti), suggerì che fosse necessario un *quarto numero quantico* e che tale numero non definisse una proprietà del livello energetico e/o dell'orbitale abitato da un elettrone, ma una proprietà dell'elettrone stesso.

In particolare il fisico austriaco Wolfgang Pauli (1900-1958), suggerì che doveva esistere *un quarto numero quantico*. Esso, nel caso dell'elettrone, si pensava dovesse avere le dimensioni di un *momento magnetico*. Ovvero, doveva avere le dimensioni di una quantità di forza magnetica, legata ad una sorta di moto «a trottola» (*spin*) dell'elettrone su se stesso[50]. Pauli ipotizzò quindi che per ogni «orbitale» caratterizzato da tre numeri quantici potessero esserci solo *due* elettroni, ma ognuno col suo momento magnetico. Ipotizzò quindi, l'esistenza di un *quarto numero quantico* relativo alla rotazione su se stesso, verso destra o verso sinistra, dell'elettrone medesimo[51]. Di qui la formulazione del:

---

[50] Ricordiamo qui che la forza magnetica è generata da una carica elettrica in movimento. È questa la grande scoperta di Maxwell che ha unificato la forza elettrica e la forza magnetica in un'unica forza: la forza *eleterro–magnetica*.

[51] In seguito si scoprì che lo *spin* è una proprietà che caratterizza *tutte* le particelle quantistiche. In tal senso lo spin è stato definito «momento angolare intrinseco» di una particella subatomica, una sorta cioè di *versore*, di «preferenza» della specie di particella per un determinato verso nella direzione dell'interazione con altre particelle e che «pesa» nella de-

Il Principio di esclusione di Pauli

*Principio di esclusione*. In un sistema di particelle dotate di spin frazionario altrimenti indistinguibili, due di tali particelle non possono trovarsi nel medesimo stato quantico, caratterizzato da un *n*–upla (4, dunque una *quadrupla*, nel nostro esempio) di numeri quantici

Le stesse considerazioni Pauli le estese anche alla struttura del nucleo. Anche qui, come gli elettroni intorno al nucleo, le particelle (nucleoni) si distribuiscono su diversi livelli energetici. Solo che, essendoci in questo caso due tipi di particelle (protoni e neutroni) e non solo uno (elettroni), sarà consentita la presenza di due particelle nel medesimo stato quantico.

## 2.4.5 Dualità particella-onda

L'intuizione di De Broglie: il carattere ondulatorio e probabilistico invece che lineiforme e deterministico della propagazione degli eventi quantistici

Ma le sorprese che lo studio della struttura «fine» della materia dovevano riservarci non erano ancora finite. Un ulteriore «scandalo» fu provocato da un'elegante ipotesi matematica di un fisico francese, Louis Victor duca di De Broglie (1892-1975), il quale, nella sua tesi di dottorato in fisica nel 1925, avanzò un'idea del tutto originale che, collegata al principio d'indeterminazione di Heisenberg, costituì il vero e proprio punto di svolta della nascente meccanica quantistica. Sinteticamente, nella meccanica classica, la possibilità di determinare univocamente, con una precisione incrementabile a piacere all'infinito, posizione e quantità di moto di una particella, giustifica la rappresentazione matematica del suo moto nei termini di spostamento, proporzionale alla quantità di moto, di un punto materiale (a–dimensionale) lungo una singola traiettoria (ovvero lungo una linea unidimensionale).

---

terminazione del risultato finale dell'interazione stessa. In tal senso, esistono molti tipi di questi *spin*, numericamente caratterizzati, non solo da numeri frazionari come nel caso dell'elettrone (il cui spin vale ≈1/2), ma anche da numeri interi. Nel primo caso si tratterà di quelle particelle che costituiscono i mattoni della materia (p.es., elettroni, protoni, neutroni, etc.), le particelle di cui tutti gli atomi e dunque tutti i corpi sono fatti. Per questa loro proprietà di spin frazionario esse si distribuiranno, al loro stato fondamentale, su diversi livelli energetici dentro e fuori del nucleo e non solo su quello più basso, come dovrebbe essere se valessero anche qui le leggi della meccanica statistica classica. In termini matematici, si dice che queste particelle seguono una particolare funzione di distribuzione, studiata nella meccanica statistica da Enrico Fermi (1901-1954) e Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984). Di qui il nome di *fermioni* attribuito a questo tipo di particelle quantistiche. Nel secondo caso, quello delle particelle a *spin* intero, si tratterà di particelle che non sono i mattoni di costruzione degli atomi (protoni, neutroni, elettroni), ma «particelle di scambio». Si tratterà cioè di mediatori delle varie forze che agiscono nell'atomo: forza elettromagnetica (*fotoni*); forza debole (*bosoni vettori intermedi*), forza forte (*gluoni*). Tali particelle, che mediano gli scambi quantizzati di forze fra i fermioni, seguono una funzione di distribuzione più classica nella meccanica statistica, quella secondo la quale, allo stato fondamentale, tutte le particelle si trovano allo stesso livello di energia, quello più basso. Tale distribuzione è stata studiata in maniera particolare da Satyendra Nath Bose (1894-1974) e Albert Einstein, così che queste particelle vengono chiamate anche *bosoni*.

Una volta che però cade tale possibilità di determinazione univoca causa il principio di quantizzazione e quello d'indeterminazione, tale tipo di rappresentazione diviene profondamente errato. La natura quantica dei fenomeni considerati fa sì che non si possa parlare di determinazione univoca e continua di una posizione lungo una linea a-dimensionale ma di determinazione *probabilistica e a tratti della posizione, non più lungo una linea unidimensionale, ma lungo una superficie n-dimensionale con diversi spessori*, una superficie curva, appunto. Questo passaggio concettuale è rappresentato intuitivamente nella Figura 2-2. In altri termini, alla rappresentazione del moto di una particella come susseguirsi continuo di posizioni lungo una linea unidimensionale, bisogna sostituire nella nostra mente un altro tipo di rappresentazione. Quello del moto della particella come propagazione nello spazio di un'onda $n$-dimensionale (con $n \geq 2$) di posizioni probabili, la cosiddetta *onda di De Broglie,* un'onda la cui lunghezza $\lambda$, nel *caso-prototipo* dell'elettrone dell'atomo d'idrogeno studiato da Bohr, è proporzionale alla quantità di moto $mv$, secondo una relazione già scoperta nel 1922 da Compton, ovvero:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Equazione 2-1

Il modello ondulatorio di atomo come oscillatore armonico

Attraverso tale semplicissima e sconvolgente idea, il fenomeno dei «salti di orbita» dell'atomo di idrogeno, quando viene eccitato da impulsi di energia quantizzata dall'esterno — il fenomeno per cui l'elettrone passa dall'orbita più interna del suo stato fondamentale ad orbite via via più complesse intorno al nucleo, secondo il modello di Bohr —, può essere spiegato mediante un modello ondulatorio. Può essere spiegato in maniera più coerente considerando l'atomo non come un sistema planetario, ma come un oscillatore armonico (come p.es., nel caso delle vibrazioni acustiche, una campana) che, quando viene colpito da una certa quantità d'energia, «vibra». Esso produce un'onda (sonora, nel caso della campana, «elettronica» nel caso dell'atomo) che si propaga nello spazio.

L'ipotesi di De Broglie, quando fu formulata, era tanto più sconvolgente in quanto fu formulata due anni prima e non dopo la scoperta del principio d'indeterminazione di Heisenberg. Noi, per ragioni pedagogiche, l'abbiamo posta dopo così da rendere immediatamente evidente che le onde di De Broglie *non sono onde d'energia.* Esse non rappresentano alcuno stato della materia, non rappresentano alcuna vibrazione di un campo di forze, come, p.es., le onde elettromagnetiche. Non sono altro che un cambio di rappresentazione matematica di fenomeni fisici che, altrimenti, nella rappresentazione classica a traiettorie di particelle univocamente e non solo probabilisticamente localizzabili, sarebbero inspiegabili.

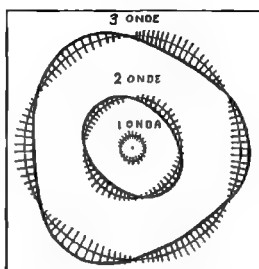



Figura 2-2. Le onde di De Broglie adattate alle orbite quantiche dell'atomo di Bohr (da Gamow 1980, 85). Si può vedere bene il passaggio di rappresentazione dalle traiettorie unidimensionali di Bohr alle onde probabilistiche di De Broglie — bidimensionali in questa rappresentazione. Entro quelle linee di spessore, che definiscono il profilo della nostra curva bidimensionale, la particella può essere localizzata dovunque. Per questo si dice che con la rappresentazione ondulatoria di De Broglie–Schrödinger–Dirac si è passati dal modello «planetario» dell'atomo di Bohr (elettroni assimilati a pianeti) al modello dell'atomo «a nube». Come il volume di una nube è fatta di goccioline d'acqua che si muovono vorticosamente dentro quel volume senza una localizzazione precisa, ma solo statistica, così nella «nube elettronica» del modello ondulatorio di atomo. La differenza con la nube d'acqua è che, se volessi, potrei localizzare con precisione sempre maggiore la localizzazione della gocciolina, mentre nella nube elettronica, no.

Le prime verifiche sperimentali del modello ondulatorio

Per tutto questo risultarono così sconvolgenti le *verifiche sperimentali* che ne seguirono. Innanzitutto se le particelle elementari si propagavano non come corpi lungo traiettorie, ma come onde, essi passando attraverso la materia avrebbero dovuto produrre fenomeni di diffrazione, proprio come i fasci di luce. P.es., in base alla formula sopra ricordata (Equazione 2-1), accelerando opportunamente dei fasci di elettroni, si sarebbe potuta ottenere una lunghezza d'onda di De Broglie, $\lambda \approx 10^{-8} cm$, paragonabile a quella dei raggi X con le onde elettromagnetiche — seppure i quanti dell'onda elettromagnetica sono fotoni, particelle senza massa, mentre gli elettroni sono dotati di massa. Se allora l'ipotesi di De Broglie era giusta, «l'onda elettronica», attraversando un reticolo di atomi, avrebbe dovuto produrre dei caratteristici fenomeni di diffrazione[52] come fossero raggi di luce ad alta frequenza, ovvero raggi

[52] I fenomeni di diffrazione sono tipici di tutti i fenomeni ondulatori. Intuitivamente, ammettiamo di avere una serie di onde, p.es., elettromagnetiche, che interferiscono fra di loro. È chiaro che dove a picchi corrispondono picchi, quando le onde interferiscono (onde in fase), i due si sommano formando un picco di altezza proporzionale alla loro somma. Invece, quando ad un picco corrisponde un ventre (onde non in fase), s'annullano. Se all'onda risultante dall'interferenza facessimo impressionare una lastra fotografica, otterremmo una figura caratteristica a strisce chiare e scure, dove le prime corrisponderebbero ai ventri, le seconde ai picchi dell'onda luminosa. Ora, se acceleriamo

X. L'esperimento fu effettuato indipendentemente da Thomson in Inghilterra e Davisson e Germer negli Stati Uniti. In ambedue i casi, si ottenevano sulla lastra fotografica i fenomeni diffrattivi previsti dalla teoria di De Broglie (Cfr. nota 52), corrispondenti, nel caso dei fasci di elettroni, alle lunghezze d'onda previste dalla formula di De Broglie. Addirittura lo stesso fenomeno, fu ottenuto dal fisico tedesco Otto Stern, accelerando *atomi* — migliaia di volte più pesanti di un elettrone! — fino ad ottenere una lunghezza d'onda di De Broglie di $\lambda \approx 10^{-8}\,cm$.

La nascita della meccanica ondulatoria

Attraverso il suo controllo sperimentale, essenziale, al pari della sua formulazione matematica, per appartenere al novero delle ipotesi scientifiche moderne, «galileiane», possiamo dire che era nata una nuova branca della fisica *la meccanica ondulatoria.* Per questa sua scoperta che cambia il corso della storia della fisica, De Broglie otterrà il Nobel nel 1929.

Altri fenomeni, inspiegabili nel modello meccanico classico «a traiettorie» — i ben noti fenomeni di radioattività dell'uranio e del radio, come pure la possibilità di bombardare atomi con particelle ultraveloci, fino a farli scindere (fissione nucleare) o fondere insieme (fusione nucleare), come in natura accade continuamente nelle stelle e nel sole in particolare —, poterono essere spiegati a partire dall'ipotesi ondulatoria di De Broglie[53].

### 2.4.6 Equazione di Schrödinger

Il passaggio all'equazione ondulatoria di Schrödinger

La consacrazione definitiva della nuova meccanica ondulatoria si ebbe solo un anno dopo la pubblicazione dell'eccezionale idea di De Broglie, nel 1926, quando il fisico austriaco Erwin Schrödinger (1887-1961) formulò una nuova elegantissima teoria matematica dell'atomo di idrogeno nei termini della meccanica ondulatoria di De Broglie. Per questo, egli ricevette il Nobel nel 1933. Il modello «planetario» di atomo, semi-classico di Bohr, era sostituito definitivamente dal modello «ondulatorio» originato dall'intuizione di De Broglie. Non più di «elettroni» ruotanti su «orbite» intorno al nucleo si dovrà parlare, ma di livelli di energia di onde «elettroniche» di De Broglie, di un atomo che «vibra» come un oscillatore armonico quantistico.

---

fasci di particelle, elettroni, p.es., ma anche atomi!, e le facciamo interferire opportunamente, otteniamo lo stesso fenomeno diffrattivo! Particelle dotate di massa si comportano quindi come onde.

[53] Nel modello classico a traiettoria di punti materiali, era impossibile spiegare come particelle dotate di un'energia inferiore potessero saltare «barriere di potenziale» più alte, determinando, p.es., i classici fenomeni di radioattività, dove particelle alfa vincono l'attrazione del nucleo nell'atomo di uranio. Ma se i fenomeni hanno natura ondulatoria diviene possibile, con una certa probabilità, che particelle dotate di un'energia più bassa della barriera, ogni tanto, «passino attraverso» la barriera stessa.

Il modello dell'atomo d'idrogeno a onde stazionarie circoscritte

Secondo l'equazione di Schrödinger, i diversi livelli dell'energia a cui «salta» l'unico elettrone dell'atomo d'idrogeno, quando questo è «eccitato» dall'immissione in forma discreta di energia dall'esterno, sono calcolati con precisione sconvolgente come «vibrazioni» di un oscillatore armonico quantistico. Essi sono calcolati secondo il modello ad «onde stazionarie circoscritte», quello, per intenderci che descrive le vibrazioni di una corda elastica fissata ai due estremi, come le corde di un violino o di una chitarra, quando viene sollecitata. Pizzicando la corda con un'intensità doppia, tripla, quadrupla, etc. di quella originaria, la corda proporzionalmente vibrerà con una frequenza doppia, tripla, quadrupla, di quella originaria. Si tratta dunque di un'equazione lineare: c'è proporzionalità fra entrata e uscita.

Determinazione dello schema di termini dei vari livelli energetici permessi all'atomo (i vecchi «orbitali» di Bohr), come autovalori delle relative funzioni d'onda (autofunzioni)

Più esattamente, la funzione d'onda $\psi(x, y, z)$ che compare nell'equazione di Schrödinger è una funzione delle coordinate spaziali della particella. Se è possibile trovare la soluzione di quell'equazione per un dato sistema (p.es.: un elettrone in un atomo), allora la soluzione, che dipende dalle condizioni al contorno (p.es., l'energia immessa nel sistema), è un insieme delle funzioni d'onda permesse (*autofunzioni*) della particella, ciascuna delle quali corrisponderà ad un livello energetico permesso (*autovalore*). Fisicamente, in ogni punto, il quadrato della funzione d'onda è proporzionale alla probabilità di trovare la particella in un elemento infinitesimo di volume, $dx\, dy\, dz$, centrato su quel punto. In questo senso un *orbitale* atomico o molecolare non corrisponderà più, come nel modello di Bohr, ad un orbita o traiettoria definita. L'elettrone ha solo una certa probabilità di occupare una data posizione dello spazio. Tale probabilità è data dalla soluzione dell'equazione di Schrödinger, per ottenere la funzione d'onda $\psi$: infatti la probabilità di trovare l'elettrone in una certa posizione è proporzionale a $|\psi|^2$. Un *orbitale atomico* invece che essere un'orbita, una traiettoria in senso classico, corrisponde ad una distribuzione di probabilità di localizzazione spazio–temporale attorno al nucleo o, in maniera equivalente, ad una distribuzione di carica elettrica mediata sul tempo. Come vedremo, quest'equazione cambia non solo la storia della fisica, ma anche quella della filosofia della natura moderne (Cfr. *infra* § 5.4.4., spec. pp. 352ss.).

Tappa finale di questa prima fase della storia della quantistica è l'equazione di Dirac con la scoperta dell'antimateria

Come già accennato, l'ultimo capitolo della storia della nascita della fisica quantistica è finora quello scritto a partire dall'equazione di Paul A. M. Dirac (1902-1984; Premio Nobel nel 1933). A parte l'ipotesi sconvolgente che tale equazione avanzava in forma teorica dell'esistenza dell'*antimateria*, ipotesi che ottenne una prima conferma sperimentale qualche anno dopo, dalla scoperta di M. Anderson dell'*anti–elettrone* o *positone*, essa finalmente includeva nelle equazioni della meccanica quantistica i principi della teoria della relatività ristretta, ovvero la trasformabili-

tà massa-energia per particelle che si muovono a velocità prossime a quella della luce (= velocità limite). È dall'equazione di Dirac, infatti, che deriva lo sviluppo successivo dell'elettrodinamica (e della cromodimanica) quantiste.

### 2.4.7 Principio di complementarità

Per capire dove oggi, a distanza di cento anni esatti dalla scoperta di Planck, si muove la ricerca in fisica quantistica, preparandoci — probabilmente in un futuro non troppo lontano — a sorprese forse ben maggiori di quelle peraltro enormi dei primi trent'anni del XX secolo, bisogna accennare ad un ultimo rivoluzionario principio che caratterizza la meccanica quantistica rispetto a quella classica. La nuova eccezionale situazione — la medesima realtà fisica rappresentata secondo due formalismi, quello semi–classico secondo funzioni–traiettoria dell'atomo di Bohr, e quello ondulatorio dell'atomo di De Broglie–Schrödinger — fu fotografata nell'enunciazione, da parte di Niels Bohr medesimo, di un ulteriore nuovo principio, che caratterizza, rispetto alla meccanica classica di Newton, la nuova meccanica quantistica, in vista di una sua futura definitiva formalizzazione, peraltro ancora di là da venire[54]. Si tratta del cosiddetto:

Il principio di complementarità di Bohr

> *Principio di complementarità*. Tutti i fenomeni microscopici sono caratterizzati dalla presenza di una doppia rappresentazione, nei termini di particella e nei termini di onda. I due aspetti sono legati dalla duplice relazione $p = h\lambda$ e $E = h\nu$, dove $h$ è la costante di Planck, $p$ ed $E$ rappresentano, rispettivamente, la quantità di moto e l'energia associabili all'ente quantistico sotto forma particellare; mentre $\lambda$ e $\nu$ rappresentano la lunghezza d'onda e la frequenza associabili all'ente quantistico sotto forma ondulatoria.

Ora, se si guardano attentamente queste due formule del principio di complementarità una cosa balza immediatamente alla vista, del massimo interesse per una metafisica dell'ente fisico quantistico.

L'indeterminazione quantistica legata alla riduzione della funzione d'onda

L'indeterminazione — legata ad $h$ — è tutta dalla parte destra delle due equazioni che sintetizzano l'enunciato del principio di complementarità, contenendo la parte sinistra solo variabili tipiche della rappresentazione «particellare» dell'evento quantista. In altri termini, l'indeterminazione si manifesta allorché si cerca di operare la cosiddetta *riduzione della funzione*

---

[54] Tale formalizzazione sarà ottenuta parzialmente nei trenta anni seguenti, dopo l'integrazione con la teoria della relatività ristretta, per mezzo dell'equazione di Dirac, nei termini *dell'elettrodinamica quantistica*. E questo, grazie al lavoro di eminenti matematici e fisici come Hilbert, Von Neumann e Feynman, ma che tutt'ora aspetta una formulazione definitiva soddisfacente. Vi torneremo nella Terza Parte.

*d'onda*. Allorché, cioè, si vogliono costringere ad una rappresentazione, in forma di traiettorie di particelle, gli eventi quantistici che hanno, invece, la loro rappresentazione matematica in termini ondulatori. Eventi, cioè, che matematicamente parlando, hanno la loro rappresentazione adeguata in termini di *funzioni d'onda* e non di *traiettorie*. In termini di funzioni d'onda, gli eventi quantistici sono perfettamente *deterministici* e soprattutto *prevedibili*, perché caratterizzati da *stabilità dinamica* (Cfr. *infra* § 2.6.1, p. 142ss.). Esistono comunque diversi e promettenti tentativi di fornire un'interpretazione *realista* della riduzione della funzione d'onda, rendendo i paradossali fenomeni fisici osservati ad essa collegati, indipendenti dalla rappresentazione e/o dall'atto di misurazione del soggetto osservante, legandoli invece al cosiddetto fenomeno della *decoerentizzazione* (Tegmark & Wheeler 2001).

Debolezza dell'interpretazione corrente dell'indeterminazione legata all'interferenza dello strumento di misura

Ciò significa però anche un'altra cosa. Generalmente nell'interpretazione corrente della teoria quantista, si afferma che l'indeterminazione di cui Heisenberg per primo ci ha parlato dipende dall'irriducibile interazione dei nostri strumenti di misura con l'evento osservato. Spesso ciò è servito ad elucubrare per un'epistemologia di tipo soggettivista sull'ineliminabile influenza del soggetto sulla natura dell'oggetto osservato, nel cuore stesso della scienza fisica. Ma nell'altra interpretazione, che si rifà alla cosiddetta «scuola di Copenaghen» delle «variabili nascoste» — un'interpretazione che sempre di più va prendendo piede fra i teorici della fisica quantistica (Hawking 1988; Hawking & Penrose 1996; Ghirardi 1997; Penrose 1999; Tegmark & Wheeler 2001) —, l'indeterminazione viene ad avere una ragione ben più profonda, del tutto oggettiva e realista. Se una rappresentazione — quella delle funzioni d'onda — appare più adeguata, più «vera» di un'altra — quella a traiettorie classiche —, è perché essa appare intrinsecamente legata alla *non–località spazio–temporale* dei fenomeni quantistici, intesa come una delle loro specifiche proprietà. Una proprietà scandalosa per il filosofi della natura moderno, ma nient'affatto tale per chi si rifà ad una filosofia della natura aristotelica o, fra in contemporanei, alla filosofia dei processi di Whitehead.

Verso un'interpretazione realista delle relazioni d'indeterminazione

Per lo stesso motivo, i fenomeni d'indeterminazione che conseguono all'interferenza degli strumenti di misura, non sarebbero legati ad un'interferenza della «conoscenza» sull'«essere», ma molto più banalmente e realisticamente al fatto che un altro sistema fisico (l'apparato di misura) interferisca con l'evento quantistico «decoerentizzandolo», rompendo la magia dell'*entanglement* fra stati quantistici e trasformando l'affascinante proprietà della non–località di questi eventi nella molto più prosaica impossibilità di localizzazione univoca della particella quantistica, propria della relazione d'indeterminazione. Allo stesso tempo — e

qui è l'interesse sommo, teoretico dell'intera questione — appare evidente come le proprietà dello spazio–tempo fisico appaiano qui intrinsecamente legate alle interazioni dinamiche fra i corpi, in una maniera ancora più intrinseca a livello microscopico di quanto la stessa relatività generale ci abbia insegnato a livello megaloscopico (Basti & Perrone 1992). Di qui l'interesse di un sommo teorico della relatività generale quale il professor Wheeler per la teoria della decoerentizzazione. Approfondiamo un attimo allora la nozione di «non–località quantistica» come proprietà intrinseca di un sistema quantistico isolato da interferenze esterne e quindi «non–decoerentizzato».

Il paradosso EPR e il suo significato

Il fenomeno della non-località è evidenziato famoso paradosso, espresso da A. Einstein, B. Podolski e N. Rosen in un articolo del 1935 (il paradosso EPR), e fondamentalmente mirato a mostrare, nell'intenzione dei suoi autori, l'incompletezza della teoria quantista.

Da «esperimento di pensiero» a esperimento fisico

In sostanza l'articolo proponeva quello che al tempo in cui fu concepito dai loro Autori poteva essere solo «un esperimento di pensiero». Se immaginiamo che due particelle (p.es., due fotoni) abbiano interagito quantisticamente, per l'osservatore è impossibile effettuare misurazioni sullo stato delle due particelle con un'imprecisione minore di *h*, come il principio d'indeterminazione di Heisenberg insegna. Nulla dovrebbe impedire, però, è qui è il succo intuitivo dell'idea di EPR, che quando le due particelle si siano allontanate a sufficienza, sia possibile effettuare una misura con tutta la precisione che si desidera e di qui risalire indietro nello spazio–tempo, fino a ridefinire con precisione qual'era lo stato delle particelle al momento dell'interazione, eliminando così l'indeterminazione. Attraverso successivi lavori, prima, negli anni '60, il fisico inglese J. S. Bell aveva definito in modo quantitativamente rigoroso qual'era il fenomeno da misurare empiricamente (le famose «disuguaglianze di Bell») per vedere se EPR avevano ragione o no. L'esperimento ebbe varie realizzazioni fra gli anni '70 e '80, sia con particelle dotate di massa che no. Il più convincente di tutti fu finalmente realizzato dal fisico francese A. Aspect nel 1982 e quindi ripetuto diverse altre volte con risultati simili, mostrando in maniera inconfutabile che EPR avevano torto. L'esperimento riguardava lo stato di polarizzazione di due fotoni che interagivano quantisticamente, che si trovassero cioè in uno stato *entangled*, tale cioè che lo stato di polarizzazione dell'uno determinasse quello dell'altro secondo le previsioni della teoria.

Rappresentazione in termini di funzione d'onda legata all'intrinseca non-località dei fenomeni quantistici

I rivelatori dello stato di polarizzazione di ciascun fotone emesso dalla sorgente erano posti a ben 13 metri l'uno dall'altro e il loro stato veniva aggiornato ogni 10 nanosecondi, ogni centomilionesimo di secondo. Questo al fine di escludere che un qualsiasi messaggio potesse essere inviato dall'uno all'altro dei rivelatori, così che lo stato dell'uno, al passag-

gio del proprio fotone, influenzasse lo stato dell'altro. Alla velocità della luce, ovvero alla velocità massima concepibile per qualsiasi propagazione di evento fisico, infatti, un messaggio avrebbe impiegato, a quella distanza, ben 40 nanosecondi per arrivare! Ebbene anche a quella distanza, «enorme» per qualsiasi evento microfisico, lo stato di polarizzazione di ciascun fotone risulta influenzato, *entangled*, dallo stato dell'altro, esattamente secondo le previsioni della teoria quantistica. Siccome per come è concepito l'esperimento, non esiste alcuna ragione per pensare ad una violazione di *c*, della velocità della luce nell'esperimento stesso (Ghirardi, 1997, 236-361), bisogna rinunciare all'ipotesi di località spazio–temporale dei fenomeni microscopici. La rappresentabilità dei fenomeni quantistici in termini di funzione d'onda appare così intrinsecamente legata a proprietà di non–località dello spazio–tempo a livello degli eventi microscopici e al fatto che il sistema quantistico osservato sia perfettamente «isolato» da interazioni col resto del mondo fisico (Tegmark & Wheeler 2001). Per dirla scherzosamente con Ghirardi è come se gli eventi quantistici avessero proprietà «telepatiche»!

**Non località e indeterminazione**

Per concludere questa sezione dedicata alla quantistica, sia permessa un'osservazione, perché non sfugga l'importanza di quanto abbiamo appena detto circa il collegamento fra *non–località* e *indeterminazione* nella meccanica quantistica che ci ritornerà terribilmente utile nella Seconda Parte. Se è concesso un approfondimento di tipo metafisico — ma d'altra parte l'esperimento di Aspect è stato ben definito come un caso eclatante di «metafisica sperimentale», un caso di tangenzialità eclatante fra fisica e metafisica, fra scienza e filosofia della natura — la stretta relazione che la relatività evidenzia fra spazio e tempo acquista con la scoperta della non-località quantistica una valenza ben maggiore.

**Intrinsecità della relazione spazio-tempo nella fisica quantista**

La teoria della relatività (speciale) c'insegna che siamo costretti a considerare il tempo una quarta dimensione dello spazio. Quindi, una volta ammesso che *c* è finita ed è il limite superiore della velocità di qualsiasi entità fisica, non esiste più simultaneità assoluta fra eventi fisici e perciò la stessa localizzazione spaziale *in quanto misurata* di un evento, in termini «classici» di punti materiali e traiettorie, richiede necessariamente una considerazione del tempo con cui i segnali giungano al misuratore ed una correzione conseguente delle misure. L'equazione di Dirac ci ha insegnato che simili considerazioni vanno estese anche al mondo microscopico della fisica quantistica, proprio perché le particelle considerate si muovono a velocità confrontabili con *c*. L'insegnamento datoci dall'errore di EPR e dalla scoperta della *non-località* è però che la relazione spazio–tempo è ben più intrinseca — almeno nei fenomeni microscopici, ma non è detto solo in quelli — della semplice necessità di dover aggiungere una quarta dimensione, quella del tempo, ad uno spazio geo-

metrico tridimensionale, rappresentativo di eventi. Tale intrinsecità è ulteriormente confermata nel caso dell'interpretazione cosmologica del fenomeno della decoerentizzazione quantistica (Zeh 2001).

Non–località del tempo e carattere non-locale, discreto e indeterminato degli eventi quantistici

Infatti, ciò che era sfuggito completamente alla fisica moderna da Newton ad Einstein, ma non ai filosofi fin dall'antichità, è che il tempo ha un'intrinseca natura non–locale: si provi a localizzare univocamente, come fosse un punto nello spazio, l'istante presente! Esso è sistematicamente *elusivo,* come si è espresso recentemente Gilbert Ryle in un suo famoso saggio (Ryle 1949). Se cercassi di fissare «l'adesso» come un «qui» nello spazio, esso è irrimediabilmente già trascorso. Una verità questa della non–localizzabilità univoca del presente, per questo non rappresentabile come un punto geometrico univocamente localizzabile, che era già nota a Platone e ad Aristotele e che, nel '900, fu reclamata a gran voce da un altro filosofo e dai molti suoi seguaci: Henri Bergson (1859-1941). È comune, però, a tutti questi filosofi contemporanei un richiamo alle proprietà di non–località del tempo in una forma troppo dipendente dalla soggettività della coscienza, a differenza di quanto facevano gli antichi ed in particolare Aristotele. Viceversa, la non-località quantistica come proprietà intrinseca dello spazio degli eventi microscopici e la sua stretta relazione al principio di quantizzazione[55] e quindi col principio di decoerentizzazione e d'indeterminazione richiamano il fatto che la non–località spazio-temporale è un fatto *oggettivo* dei processi fisici microscopici. La coscienza non c'entra nulla: siamo di fronte ad eventi misurabili, a meno che non si voglia attribuire «telepatia» agli eventi fisici microscopici, come celiava Ghirardi!

Il carattere intrinseco ai corpi dello spazio–tempo e il suo distacco dalla concezione moderna newtoniana–kantiana delle origini

Tutto questo è collegato, più generalmente, col fatto assolutamente sconvolgente per un moderno — ma nient'affatto tale per un aristotelico — che spazio e tempo sono tutt'altro che «forme a priori» della nostra conoscenza (Cfr. *infra,* nota 57, p. 131). La loro struttura e le loro proprietà (*località* o *non-località,* innanzitutto) dipendono criticamente dalle *interazioni causali (dinamiche)* tra determinati corpi posti in essi di cui allora, come nella tavola aristotelica delle categorie si diceva, spazio e tempo sono *accidenti,* attributi caratteristici, le cui proprietà variano al variare della natura dei corpi cui ineriscono e delle loro relazioni (Cfr. *infra* § 5.4.2, pp. 330ss.)[56]. «Una novità» questa per il fisico moderno cui la teoria della

[55] Il quanto è «quanto d'azione», ovvero di una forza applicata sullo spazio per un intervallo di tempo!

[56] Conseguenza di questa impostazione è che per Tommaso sono univocamente localizzabili solo i corpi esistenti in atto, mentre sono assolutamente non–locali gli elementi «in moto continuo» che li costituiscono, esistenti perciò *virtualmente* in essi. In uno stato,cioè, intermedio fra la potenza e l'atto, perché sono *distinguibili* entro il composto che infatti può essere scisso, riottenendo gli elementi costituenti che dunque non sono perfetta-

relatività e soprattutto la sua spiegazione della gravità ci aveva in parte preparati (Cfr. *infra* § 2.5.3, pp. 140ss.), ma che, in una teoria unificata relatività/quantistica o «teoria della gravità quantistica» basata su tali premesse, andrebbe ben oltre. Ha ben ragione dunque Wheeler a concludere il suo più volte citato articolo di bilancio sui primi cent'anni della fisica quantistica con la seguente riflessione:

> I primi cento anni della meccanica quantistica ci hanno fornito potenti tecnologie ed hanno risposto a molte questioni. Ma la fisica ne ha fatto sorgere di nuove che sono altrettanto importanti (…) — questioni che riguardano sia la gravità quantistica che l'ultima natura della realtà. Se la storia è qualcosa che va avanti, il secolo che viene dovrebbe essere pieno di eccitanti sorprese (Tegmark & Wheeler 2001, 75).

## 2.5 Teoria della relatività

### 2.5.1 Concezione newtoniana dello spazio-tempo

Nella meccanica aristotelica distinzione assoluta fra quiete e moto perché scienza causale

Per avviarci a completare il nostro quadro iniziale sulle rivoluzioni scientifiche del '900 dobbiamo dire ora qualcosa su quella forse più conosciuta dal grande pubblico, proprio perché, nell'immaginario comune, ottenuta dal prototipo di scienziato moderno, Albert Einstein (1879-1955): la *teoria della relatività*.

Una delle concezioni che rende profondamente diversa la visione dello *spazio e del tempo* fisico della meccanica newtoniana rispetto a quella della visione greca, p.es. aristotelica, è che per le leggi della meccanica newtoniana non esiste alcuna sostanziale differenza fra stato di *quiete* e stato di *moto*. Nella filosofia della natura aristotelica si cercavano cause e non leggi matematiche per rappresentare e predire fenomeni misurabili. Nella meccanica aristotelica si cercavano perciò *le cause* del moto di corpi in quiete.

Nella meccanica moderna, mancanza di una distinzione assoluta fra quiete e moto perché scienza fenomenica

Questa prospettiva cambia del tutto nella *meccanica** e nella *dinamica** moderne a cominciare da Galilei. Esse, interessandosi essenzialmente alle leggi matematiche che determinano le relazioni fra grandezze misurabili, quando studiano le *forze*, non stanno studiando «cause» che determinano l'esistenza di eventi (accidenti), p.es., cause che determinano

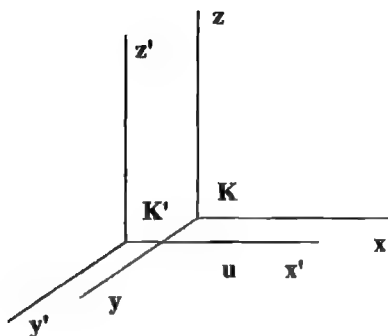
---

mente «in potenza» in esso. Allo stesso tempo però sono *non-localizzabili* univocamente entro il composto — e dunque non perfettamente in atto — garantendo così *unità* ed *impenetrabilità* dei corpi. Torneremo su questi concetti nella Terza Parte (Volume Secondo) di questo lavoro.

l'esistenza dell'evento del passaggio dallo stato di quiete allo stato di moto di un corpo (sostanza) o viceversa, ma studiano la relazione fra la variazione di una determinata grandezza dinamica (variabile indipendente: la forza) e la variazione di un'altra grandezza meccanica (variabile dipendente: la posizione). Applicando questo metodo, Galilei giunse al non piccolo risultato di dimostrare che corpi di diverso peso cadono alla stessa velocità – dunque il peso non è «la causa» della caduta. Newton, seguendo e perfezionando formalmente questo metodo, definì la legge che determina l'intensità della forza di gravità che a sua volta determina la quantità di moto in questione. Scoprendo, cioè, che l'intensità della forza è direttamente proporzionale alle masse dei corpi coinvolti e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza. In sintesi, dunque, nella dinamica moderna le forze *non causano* spostamenti di corpi in quiete, ma *modificano velocità.* Quiete e moto non sono stati fisici dei corpi assolutamente distinti, come peraltro il principio d'inerzia nella sua successiva formulazione newtoniana evidenzia. Sono semplicemente stati fisici caratterizzati da due grandezze numeriche diverse della velocità: $= 0$, per la quiete, $\neq 0$ per lo stato di moto.

Il principio di relatività galileiano e la mancanza di un sistema di riferimento assoluto per i corpi in quiete.

Questa differenza di prospettive implica una profondo cambio riguardo alle nozioni di *tempo* e di *spazio* nella meccanica moderna rispetto a quella antica. Mentre in questa esisteva un sistema di riferimento *assoluto* per giudicare della quiete dei corpi (il cielo delle stelle fisse, nella visione cosmologica, a sfere concentriche della cosmologia aristotelico-tolemaica), ciò manca completamente nella meccanica classica, galileiano-newtoniana. In essa vige cioè il cosiddetto *principio di relatività galileiano* che in sostanza afferma che non esiste un sistema di riferimento privilegiato rispetto al quale si possa dire, nel descrivere un moto, quale sia il corpo in movimento e quale quello in quiete. Intuitivamente ciò ha un corrispettivo immediato nell'esperienza che tutti abbiamo fatto sul treno fermo in stazione, quando, guardando dal finestrino, non abbiamo nessun modo per decidere chi si sta muovendo: se noi o il treno parcheggiato a fianco.

*Il principio di relatività galileiano*, si enuncia dicendo che, se nella descrizione di un fenomeno fisico la posizione dei corpi è riferita a un sistema $K$ di coordinate cartesiane ortogonali, per cui sia valido il principio d'inerzia (sistema inerziale), questa legge è ancora valida per un altro sistema $K'$, rispetto al quale il precedente sia in moto uniforme. Nell'esempio precedente $K$ sia fissato al treno, $K'$ alla strada ferrata (pur essendo entrambi non perfettamente inerziali), gli assi $x, y, z$:

che definiscono il sistema K siano paralleli agli assi x', y', z' che definiscono il sistema K', e il moto sia parallelo a x; la relazione tra le coordinate x, y, z e x', y', z', secondo la trasformazione di Galileo, è la seguente:
$x' = x - ut$, dove u è la velocità e t il tempo
$y' = y$
$z' = z$

Nondimeno, presenza di un'idea di misura assoluta dello spazio e del tempo nella meccanica classica

Malgrado questa rinuncia ad un sistema di riferimento assoluto per la quiete, resta in Newton e Galilei l'idea di uno spazio (per l'esattezza di una misura della distanza spaziale) e di un tempo (per l'esattezza di una misura della distanza temporale) *assoluti*, ovvero di un sistema di riferimento assoluto rispetto all'osservatore. In tal modo, lo spazio e il tempo vengono considerati dalla fisica galileiano–newtoniana una sorta di «contenitore» degli eventi fisici che si svolgevano al suo interno, per nulla influenzato da questi stessi eventi[57]. In particolare, tipico della concezione newtoniana del *tempo* è che esso potesse essere misurato con precisione *assoluta*, qualunque fosse la posizione nello *spazio*, purché si fosse dotati di un buon orologio. Ciò supponeva il considerare:

- *Spazio e tempo* due coordinate fra di loro assolutamente *indipendenti* e, conseguentemente,
- Che fosse perfettamente plausibile l'ipotesi della *simultaneità assoluta* fra eventi, il che fisicamente suppone che si potessero inviare segnali (p.es., fra due orologi per sincronizzarli) a velocità infinita.

[57] Addirittura, nell'interpretazione metafisica newtoniana, spazio e tempo assoluti erano definiti *sensoria Dei*, il modo del «Dio–orologiaio» newtoniano di entrare in relazione col mondo e per ciò stesso di garantire l'assolutezza delle leggi della meccanica. Si incaricherà Kant di «demitizzare» quest'idea per fare dello spazio–tempo assoluti dei *sensoria hominis*, ovvero delle «forme a priori» della sensibilità umana nella conoscenza empirica di eventi fisici.

D'altra parte, l'infinità della velocità della luce era una concezione comune anche alla fisica antica.

Il problema della velocità finita della luce e la teoria ondulatoria della luce di Maxwell

Eppure che la luce avesse una velocità finita era una scoperta già disponibile, fatta addirittura undici anni prima la pubblicazione dei *Principia* di Newton, nel 1675, dall'astronomo danese Olaf Christensen Römer. Una scoperta fatta osservando le eclissi dei satelliti di Giove in diversi periodi dell'anno, quando la distanza Terra–Giove varia, causa l'orbita ellittica che questi due pianeti del sistema solare percorrono. A parte la non esattezza della misura di questa velocità che Römer aveva tentato, bisognerà attendere il 1865, perché il fisico inglese James Clerk Maxwell (1831-1879) fornisca alla fisica moderna una teoria consistente della radiazione luminosa (elettromagnetica), basata sull'idea della velocità finita di propagazione della radiazione medesima.

L'ipotesi dell'etere e la sua confutazione

Il problema era che, se si accettano le equazioni di Maxwell ed insieme la velocità finita della luce, non vale più il principio di relatività galileiana. Se infatti valesse tale principio, rispetto ad un sistema in quiete (p.es., l'«etere» inteso come l'ipotetico mezzo in quiete che le radiazioni luminose farebbero vibrare, una specie di corrispettivo elettromagnetico dell'aria per le onde sonore) le equazioni di Maxwell risulteranno verificate così come sono state scritte, mentre rispetto ad altri sistemi inerziali in moto rispetto all'etere, esse dovrebbero dare risultati differenti. Un esperimento famoso, condotto da Albert Michelson (Premio Nobel nel 1907) e Edward Morley nel 1887 dimostrò l'infondatezza dell'ipotesi suddetta. Essi confrontarono la velocità della luce nella direzione del moto della terra e perpendicolarmente rispetto ad essa. Se fosse stata vera l'ipotesi dell'etere, la velocità della luce e quella della terra avrebbero dovuto sommarsi e quindi la luce essere più veloce misurata nel primo caso rispetto al secondo. Viceversa la velocità risultò essere sostanzialmente identica — anche se, in seguito, contestazioni su questa misura costrinsero a misurazioni ancora più precise e le polemiche non sono ancora completamente sopite.

### 2.5.2 Relatività speciale

Proposta di soluzione con la relatività speciale di A- Einstein

Nel 1905, il giovane A. Einstein, allora impiegato all'Ufficio Brevetti di Vienna per sbarcare il lunario dopo la laurea in fisica, pubblicò una famosa memoria *Sull'elettrodinamica dei corpi in moto*. Einstein osservò che alcune dissimmetrie dell'elettrodinamica di Maxwell, applicata ai corpi in movimento, e i tentativi falliti di porre in evidenza il moto della Terra rispetto al mezzo ipotetico («etere») di propagazione della luce conducono a ritenere che:

> *Principio di relatività speciale.* Le leggi che reggono tutti i fenomeni fisici sono le stesse per due osservatori animati di moto rettilineo uniforme uno rispetto all'altro. [In altre parole, nessun esperimento, meccanico o elettromagnetico, può porre in evidenza questo tipo di moto: il principio classico di relatività galileiano affermava la stessa cosa, ma limitatamente ai fenomeni meccanici].

Principio che si lega immediatamente all'altro della *costanza universale della velocità della luce*:

> La luce si propaga nel vuoto con una velocità costante in tutte le direzioni, indipendentemente dalle condizioni di moto della sorgente e dell'osservatore.

Carattere assoluto della velocità della luce

Questo secondo principio è in contrasto con la legge di composizione delle velocità dedotta dalle trasformazioni di Galileo: in fisica classica si trova, infatti, che la velocità di un punto materiale varia al variare del sistema inerziale in cui si effettua la misura. Su questa base era stata formulata l'ipotesi dell'etere. Più banalmente: se lancio un sasso a 5 Km/h ad un'automobile che va a 90 Km/h, il sasso colpirà l'auto ad una velocità di 95 Km/h. Viceversa, ammettendo la costanza della velocità della luce, se la illumino con un raggio di luce che viaggia a 1.080.000.000 Km/h (300.000 Km/sec) esso non colpirà la nostra automobile alla velocità di 1.080.000.090 Km/h, ma sempre a 1.080.000.000 Km/h! Occorre dunque sostituire alle trasformazioni di Galileo fra sistemi di riferimento inerziali (p.es., fra un osservatore in movimento ed un corpo in moto), delle altre trasformazioni che soddisfino il postulato della costanza della velocità della luce *c*. Einstein scoprì che queste trasformazioni sono proprio quelle già trovate dal fisico olandese Heinrich A. Lorentz (1885-1928) per spiegare i risultati di Michelson e Morley, ma che ancora attendevano di essere inquadrate in una teoria fisica coerente, quale invece la teoria di Einstein era. Ne segue che il valore *c* è una costante universale, ha cioè lo stesso valore per tutti i sistemi di riferimento inerziali.

Le conseguenze strabilianti della relatività:

Tutto l'impianto della teoria della relatività portava però a delle conseguenze paradossali, legate ultimamente alla fine dell'idea, tipica della meccanica classica, di uno *spazio e di un tempo assoluti*. «Spazio» e «tempo», ovviamente, considerati non in se stessi — che non è compito di una teoria fisica moderna considerare —, ma in quanto misurati, ovvero come «distanza spaziale misurata» e come «intervallo temporale misurato». Sinteticamente, le conseguenze paradossali sono le seguenti:

1. Dilatazione dei tempi

- *Dilatazione dei tempi (= relatività del tempo).* Per comprendere la critica del principio del carattere assoluto del tempo ritorniamo al moto del treno, di lunghezza L. Le due estremità del treno corrispondano

a due punti A, B prossimi al binario lungo il quale, nel punto M tra A e B, sia fermo un osservatore $O_b$.

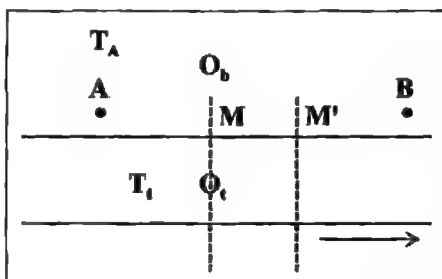



Figura 2-3. Illustrazione intuitiva del principio di relatività temporale

Se due impulsi luminosi vengono emessi alle estremità del treno a istanti tali che $O_b$ li veda arrivare contemporaneamente mediante un sistema ottico, egli affermerà che le due emissioni sono avvenute contemporaneamente. Ma un altro osservatore $O_t$, posto nel punto medio del treno in moto, non le vedrà arrivare contemporaneamente perché intanto il treno si è spostato in M' e se il treno si muove nel senso AB affermerà che l'emissione in A è avvenuta dopo l'emissione in B. Dunque, il concetto di contemporaneità è relativo al sistema di riferimento. Dalla *relatività della contemporaneità* si passa alla *relatività del tempo* considerando un orologio $T_A$ fisso in A e un altro orologio $T_t$ sul treno in moto, orologio che per ipotesi dovrebbe essere sincrono al precedente se il treno fosse fermo. Via via che l'orologio $T_t$ si sposta da A verso B le sue lancette, che immaginiamo possano essere viste da A, sembreranno ruotare più lentamente di quelle di $T_A$ in misura dipendente dalla velocità del treno, in relazione al fatto che al crescere della distanza aumenterà in proporzione il tempo di propagazione della luce (*dilatazione dei tempi*).

2. Contrazione delle lunghezze

♦ *Contrazione delle lunghezze* (= *relatività dello spazio*). L'inesattezza del carattere assoluto della distanza deriva direttamente dalle considerazioni precedenti. Infatti, una distanza $l$ misurata su un corpo fermo è la differenza $x_2 - x_1$ di due coordinate spaziali rispetto a un dato sistema K; quando questo è in moto rispetto a un altro sistema K', $x_1$ e $x_2$ e, quindi, anche la loro differenza, diventano, rispetto a K', funzioni della velocità $u$ e della velocità della luce $c$. Il risultato è una *contrazione della lunghezza*.

3. Tempo come quarta dimensione dello spazio

- *Sistema di riferimento spazio-temporale* (=*cronotopo*). La costanza della velocità della luce nei sistemi inerziali, la relatività del tempo e la relatività della distanza *rendono necessario introdurre* sempre *il tempo nella descrizione dei fenomeni fisici*, anche nel loro aspetto puramente *geometrico*, ossia nelle coordinate *spaziali*. P.es., nella figura che illustrava il principio di relatività galileiano era sufficiente indicare le tre coordinate spaziali (Cfr. p. 130). Ma per illustrare quello einsteiniano occorre necessariamente indicare anche la coordinata temporale. Si dice allora che il sistema di riferimento diventa *spazio-temporale*. O, come, si sente dire da divulgazioni affrettate della teoria, il tempo diviene una *quarta dimensione dello spazio*. In ogni caso, lo spazio e il tempo *cessano di essere indipendenti dai fenomeni dinamici* che parametrizzano, com'erano nella meccanica classica. Cessano cioè di essere rappresentati matematicamente nelle equazioni della meccanica come se fossero dei «contenitori» assoluti dei fenomeni dinamici.

Le trasformazioni di Lorentz e rapporti con le trasformazioni di Galilei

A questo punto, si comprende meglio anche il senso delle trasformazioni Lorentz fra sistemi di coordinate che vanno a sostituire quelle di Galilei (Cfr. sopra, p. 130), tipiche della meccanica classica. Le trasformazioni di Galilei sono sostituite dalle seguenti, dovute a H. A. Lorentz, dove, come si vede, diventa essenziale definire la trasformazione anche rispetto a $t$ e non solo rispetto alle tre dimensioni spaziali $x, y, z$:

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1-\beta^2}} = \gamma(x - ut)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \beta \frac{x}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}} = \gamma\left(t - \beta\frac{x}{c}\right)$$

dove $c$ è la velocità della luce nel vuoto e inoltre $\beta = \frac{u}{c}$ e $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$.

Le trasformazioni di Lorentz hanno, infine, l'ulteriore proprietà di lasciare invarianti le equazioni di Maxwell.

Novità della relatività: carattere unificante di molte soluzioni a diversi problemi

Come si vede, con una sola idea, la relatività delle misure di tempo e spazio, Einstein, non solo aveva dato coerenza all'elettrodinamica di Maxwell garantendone l'invarianza fra sistemi inerziali — proprio come la medesima invarianza era garantita ai sistemi dinamici in meccanica classica —, ma aveva trovato anche che le trasformazioni che garantivano siffatta invarianza erano quelle trasformazioni di Lorentz che già spiegavano il risultato di Michelson–Morley. In tal maniera, finalmente,

sia il risultato sperimentale, sia la trasformazione che ne rendeva teoricamente conto, erano inseriti in un quadro fisico–teorico complessivo e coerente di tutti i fenomeni elettrodinamici.

**Trasformazioni di Galileo come trasformazioni-limite di quelle di Lorentz**

Inoltre, si tengano ben presenti le seguenti considerazioni. Sia la contrazione delle lunghezze sia la dilatazione dei tempi sono tanto più sensibili quanto più grande è la velocità $u$ in questione. Quando tale velocità è molto più piccola di quella della luce nel vuoto, come avviene nell'esperienza comune, questi effetti sono completamente trascurabili. È infatti facile vedere che *le trasformazioni di Lorentz si riducono a quelle di Galileo* quando $u/c$ tende a 0; perciò in questo limite valgono con ottima approssimazione le leggi della meccanica classica.

**La causalità fisica nella teoria della relatività e concetto dei «coni di luce»**

La teoria della relatività introduce, inoltre, una profonda modificazione del concetto di ordinamento temporale, affermando in sostanza che non esiste un orologio che batta il tempo a tutto l'universo, ma tanti orologi quanti sono i sistemi di riferimento impiegati. Dati due eventi $a$ e $b$ che avvengono in due punti diversi dello spazio, si può determinare in un dato sistema inerziale l'ordine cronologico di questi due eventi; tuttavia può talvolta succedere che, passando a un altro sistema inerziale, tale ordine venga invertito. Se, per es., per un dato osservatore, $a$ precede $b$, può avvenire che un altro osservatore, in moto rispetto al primo, veda invece che $b$ precede $a$. È chiaro quindi che l'ordine cronologico di due eventi non ha sempre un significato fisico intrinseco. Mediante le trasformazioni di Lorentz, si può determinare quale condizione devono soddisfare i due eventi affinché un dato ordine cronologico sia lo stesso per tutti i sistemi inerziali. Si trova che $a$ precede $b$ in ogni sistema inerziale solo se l'evento $b$ è raggiungibile da un segnale che parte da $a$ e viaggia con una velocità minore o uguale a quella della luce, cioè solo se l'evento $a$ può influire in qualche modo su $b$. Da questo principio discende in particolare che, non solo nessun corpo materiale può viaggiare a velocità superiore a quella della luce nel vuoto, ma che non esiste nessun segnale e nessun mezzo fisico che consenta di trasmettere un'informazione a velocità superiore a $c$.

**Il principio dei coni di luce e il suo significato fisico**

Quest'idea è sintetizzabile nel famoso principio dei *coni di luce*. Ogni evento propaga nel futuro i suoi effetti causali più o meno come i cerchi concentrici di un sasso gettato nell'acqua. Aggiungendo la terza dimensione dell'altezza per significare lo sviluppo temporale, il dispiegarsi nel tempo degli effetti causali di un evento assomiglia ad un cono rivoltato che ha come vertice l'evento stesso. Rientrano in questo cono tutti gli eventi raggiungibili causalmente dall'evento in questione, tenendo conto che la velocità con cui questi effetti si propagano non può mai superare $c$, la velocità della luce. Per questo si parla di *cono di luce* dell'evento causale considerato.

Viceversa e complementariamente, l'evento considerato è effetto di tutta un'altra serie di eventi causali che rientrano in un secondo cono di luce che ha sempre come vertice l'evento considerato, e che contiene tutti e solo gli eventi che potevano entrare causalmente in contatto con l'evento dato. Che potevano cioè raggiungerlo con velocità minore o pari a *c*.

Il tutto viene sintetizzato nelle figure seguenti:

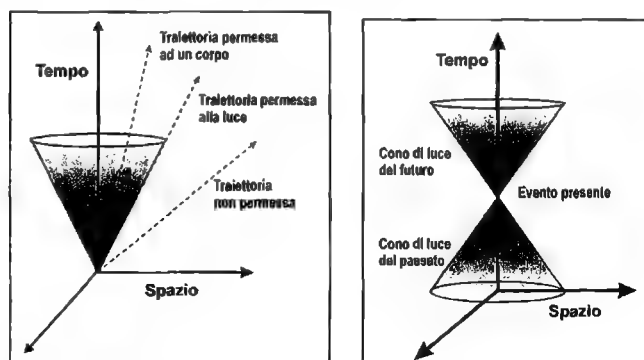



Figura 2-4. Il principio dei coni di luce che determinano gli eventi causali ammissibili in base alla teoria della relatività.

Ma la potenza esplicativa della teoria non era finita qui, come non erano finite le sue conseguenze paradossali. Alla nostra descrizione manca, infatti, la più paradossale ed insieme la più affascinante di queste conseguenze.

Due ulteriori conseguenze della relatività, legate alla natura-limite della velocità della luce

In fondo, i paradossi che abbiamo esaminato fin qui modificano il quadro rappresentativo e il formalismo matematico della meccanica classica, ma non danno ancora il senso di quanto il principio di relatività speciale spazio–temporale incida anche sul *contenuto fisico* di questo quadro e di questo formalismo. Le altre due conseguenze paradossali della teoria hanno, invece, proprio questo effetto che le rende a loro volta esplicative di quei fenomeni meravigliosi e terribili — il decadimento radioattivo e la fissione e la fusione nucleari — che l'altra rivoluzione concettuale del XX secolo, la meccanica quantistica, cominciava a scoprire e studiare proprio in quegli anni. Le ultime due, principali conseguenze paradossali della teoria sono strettamente legate al fatto che *la velocità della luce*, in base alle relazioni precedenti, costituisce *un limite massimo invalicabile* per i corpi in moto. Quando dunque un corpo viene accelerato, aumenta la sua quantità di moto *mv*. Ma se *v*, oltre un certo limite, all'approssimarsi a *c*, non può crescere più di tanto, a cominciare ad accrescersi sarà allora la massa *m*! E questo accrescimento di *m* sarà tanto più marcato, quanto

più $v$ si approssimerà al suo limite superiore $c$. Di qui due conseguenze fondamentali:

4. Aumento relativistico della massa

- *L'aumento relativisitico della massa di corpi accelerati* per velocità prossime alla velocità della luce, in base alla relazione:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

In questo senso occorre distinguere fra la *massa a riposo*, $m_0$, che il corpo possedeva in quiete e la *massa cinetica*, $m$, che esso possiede quando è accelerato per velocità prossime a quelle della luce. Il senso della suddetta relazione è chiaro: quando la velocità del corpo $v$ tende a uguagliare $c$, il valore al denominatore del termine destro dell'equazione tende a 0 e quindi il valore di $m$ tende a infinito.

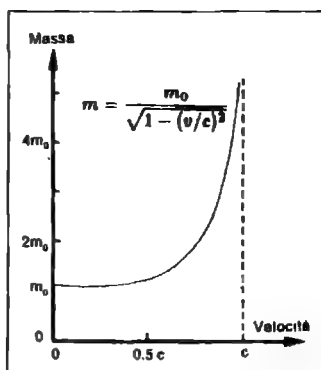



Figura 2-5. Andamento dell'aumento della massa cinetica per velocità prossime a quelle della luce. Si noti l'aumento esponenziale della massa per valori di $v > 0.5\, c$.

5. *Equivalenza** massa-energia

- *L'equivalenza e reciproca trasformabilità fra massa ed energia* per corpi che si muovono a velocità prossime a quella della luce, secondo la famosa relazione:

$$E = m\,c^2$$

Queste ultime relazioni hanno consentito di spiegare la produzione eccezionale di energia che si ha in fenomeni quali il decadimento radioattivo e la fissione e fusione nucleari. Più in generale queste due relazioni, specialmente la prima, fotografano quanto avviene ogni istante negli ac-

celeratori di particelle dei centri di ricerca di fisica alle alte ed altissime energie, come, per esempio, al CERN di Ginevra.

Il valore per la meccanica quantistica di simili scoperte

In particolare, nel caso di particelle accelerate a velocità prossime alla luce, le particelle possono acquisire nuova massa (massa cinetica) rispetto alla massa che avevano quand'erano in quiete (massa a riposo). Oppure, tutta la loro massa «a riposo» e «cinetica» si può trasformare in un'altra forma di energia, sia sotto forma di radiazione, sia sotto forma di particelle dotate di massa che non erano certo «dentro» le particelle originarie, purché la somma totale della massa–energia prima e dopo l'evento si conservi. Un fenomeno questo *dell'annihilamento–creazione* di particelle che si osserva frequentemente nella fisica delle particelle elementari e che dal punto di vista metafisico viola i principi dell'atomismo metafisico o atomismo ingenuo (Cfr. *infra* § 5.2). Per es., un elettrone e un positone (antielettrone), che sono dotati di una determinata massa sebbene molto piccola, possono interagire tra loro «annichilendosi». Il prodotto di questo processo non è una particella dotata di massa, ma una pura radiazione elettromagnetica ad altissima frequenza (raggio $\gamma$). Se acceleriamo queste particelle a velocità prossime a *c, acquisendo massa cinetica,* il loro annihilamento produrrà anche particelle dotate di massa: neutrini e neutroni che velocemente decadranno in protoni, molto più stabili. Particelle, queste ultime, molto pesanti e che certamente non erano «dentro» le particelle originarie come l'atomismo metafisico potrebbe far supporre[58]. Come già ricordato alla fine di § 2.4, è grazie all'equazione di Dirac che le equazioni della relatività speciale hanno potuto essere inserite nel quadro teorico della meccanica quantistica, dando luogo agli eccezionali sviluppi della ricerca fisica delle alte ed altissime energie che sono dinanzi ai nostri occhi. Ma sull'equazione di Dirac, il suo sviluppo nel formalismo di Feynman e il ruolo della teoria *elettrodinamica quantistica* — e della *cromodinamica quantistica* — nello studio, sia della costituzione materiale di tutti i corpi fisici, sia della struttura e dell'evoluzione dello stesso cosmo, torneremo nella Parte Terza (Secondo Volume).

---

[58] Come vedremo in seguito il concetto di massa–energia relativistica è una sorta di corrispettivo quantificabile della nozione aristotelica di *materia prima,* «in potenza» rispetto alle particelle elementari che costituiscono il sostrato materiale di tutti i corpi fisici. Attraverso tale nozione Aristotele correggeva l'atomismo democriteo, sostenendo, in base all'evidenza sperimentale allora disponibile, la *trasformabilità* degli elementi gli uni negli altri. P.es., seguendo la teoria di Empedocle che identificava gli elementi con acqua, aria, terra e fuoco, esisteva evidenza empirica per Aristotele della «volatilizzazione» dell'acqua in aria (evaporazione), della trasformazione della terra in fuoco (probabilmente in terreni intrisi di idrocarburi), etc. Così gli elementi stessi, da Democrito considerati eterni e immutabili, o appunto «atomi», non costituivano per Aristotele il fondamento ultimo del sostrato materiale dei corpi, ma tale sostrato ultimo era la materia prima, intesa come ciò che si poteva trasformare in ciascuno degli elementi.

### 2.5.3 Relatività generale

La relatività generale e il problema della conciliazione fra relatività speciale e gravitazione

La relatività speciale, come la meccanica classica, assegna ai sistemi in moto rettilineo uniforme una situazione privilegiata, poiché solo rispetto a essi le leggi fisiche sono invarianti. L'arduo compito che Einstein affrontò nell'elaborazione della relatività generale è quello di far sì che le leggi della fisica conservino la loro struttura in qualsiasi riferimento comunque sia accelerato: in altre parole le leggi della fisica devono essere tali che la loro forma rimanga inalterata rispetto a qualsiasi osservatore; dunque le equazioni della fisica devono non solo essere invarianti per trasformazioni di Lorentz, ma *invarianti per qualsiasi trasformazione.*

La geniale soluzione einsteiniana: la gravitazione è una forza che modifica la struttura dello spazio-tempo

Diciamo la stessa cosa in termini più semplici. La teoria della relatività speciale con la centralità che essa da alla velocità finita della luce, lascia fra gli altri, irrisolto un arduo problema: entra in contrasto con la *forza gravitazionale* e la sua capacità di *agire istantaneamente* a grande distanza. Fra il 1908 e il 1914 Einstein prova in diverse maniere a rendere coerente la relatività speciale con la gravità. Di qui l'ipotesi rivoluzionaria che la gravità non sia una forza come le altre, ma la conseguenza del fatto che lo spazio–tempo non è piatto, ma *curvato, distorto* dalla distribuzione di masse ed energie dei corpi che lo abitano.

In altri termini, i corpi celesti seguono una traiettoria curva non perché si muovono su orbite incurvate dalla gravità come nella rappresentazione intuitiva usuale, bensì perché seguono la cosa più vicina che assomiglia ad una traiettoria rettilinea in uno spazio curvo: la *geodetica** che su una sfera corrisponde ad un arco di cerchio di raggio massimo. In altri termini: nella relatività generale, *i corpi seguono linee rette nello spazio–tempo quadridimensionale, ma nel nostro spazio tridimensionale esse appaiono curve.* Un po' come quando proiettassimo una linea retta nello spazio tridimensionale (p.es., la rotta rettilinea di un aereo nel cielo tridimensionale) su una superficie curva bidimensionale (p.es., sulla terra) essa ci apparirà come una linea curva, al limite una geodetica che connette sulla superficie curva le proiezioni dei punti che la linea retta congiunge, come linea più breve fra i due punti stessi nello spazio tridimensionale.

Utilizzo della geometria riemaniana dello spazio curvo

La relatività generale, quindi, utilizza per le sue rappresentazioni matematiche, non lo spazio piano euclideo come la meccanica classica, ma *lo spazio curvo della geometria riemaniana* (Cfr. sopra Figura 1-5, p. 77). E, come la geometria piana euclidea può essere considerata un caso particolare di quella curva, per spazi a curvatura zero, p.es., valida per porzioni infinitesime dello spazio curvo, così la relatività generale ingloba la meccanica classica, rendendo la fisica capace di spiegare fenomeni che la meccanica classica newtoniana non era in grado di fare.

Le eccezionali, iniziali conferme sperimentali della teoria

P.es., una delle prime conferme della teoria della relatività generale fu la correzione dell'orbita di Mercurio, il pianeta più vicino al sole e che quindi risente moltissimo dell'azione di gravità esercitata su di esso, correzione sperimentalmente provata, ma che la teoria newtoniana non riusciva a spiegare. Un altro effetto che la relatività generale è in grado di spiegare è il cosiddetto «effetto Doppler» riguardo la luce delle stelle. È noto che la luce delle stelle appaia ai nostri occhi a prevalenza rossastra, benché la loro composizione chimica non giustifichi affatto tale apparenza. La spiegazione è presto data quando si pensi che questa predominanza è effetto della curvatura imposta ai raggi luminosi dalla superficie terrestre. La curvatura esercitata su un'onda ha infatti la conseguenza di «stirarla», allungando la lunghezza d'onda, che nel nostro caso significa deviare la radiazione luminosa verso la parte bassa dello spettro del visibile, verso il rosso, appunto.

La conferma iniziale più clamorosa durante un'eclisse del 1919

Ma la conferma iniziale più clamorosa della teoria, perché pubblica, si ebbe nel 1919 quando si poté constatare, durante un'eclissi totale di sole, che effettivamente la luce proveniente dalle stelle era distorta dal fatto di transitare vicino al sole. Di notte, quando il sole non è frapposto fra la stella e noi, la stella appare in una certa posizione del cielo. Di giorno, se la relatività generale fosse vera, la posizione della stella nel cielo dovrebbe risultare spostata di un certo angolo, proporzionale alla curvatura imposta dalla massa del sole al raggio luminoso proveniente da essa. Durante le giornate normali osservare questo è però impossibile, poiché la luce del sole cancella quella delle stelle. Viceversa durante l'eclissi di sole del 1919, in un cielo particolarmente terso come quello dell'Africa, una spedizione scientifica poté constatare e misurare questo fenomeno. In pratica, una stella che la sera prima era osservata n una certa posizione, al mattino appariva spostata in un'altra, per la curvatura del suo raggio luminoso imposto dall'interposizione del sole.

La conseguenza teorica: il principio di equivalenza

L'unificazione dei fenomeni inerziali con quelli gravitazionali, che è una delle conseguenze teoriche più importanti della teoria relativistica della gravitazione, fu ottenuta da Einstein enunciando il famoso:

*Principio di equivalenza.* In un campo gravitazionale (di piccola estensione spaziale) tutto accade come in uno spazio libero da gravitazione, purché vi si introduca, al posto di un sistema inerziale, un sistema di riferimento accelerato rispetto al sistema inerziale.

Anche di questo principio è stata data una conferma clamorosa che è dinanzi agli occhi di tutti col rientro nell'atmosfera di capsule da viaggi spaziali. All'interno di esse, sebbene siano nel campo gravitazionale della terra e non più nello spazio, si è in assenza di gravità. Il fatto che la capsula in moto accelerato di caduta libera verso la terra, costituisca

una parte infinitesimale dello spazio su cui agisce la forza gravitazionale terrestre, fa sì che lo spazio all'interno della capsula sia praticamente a curvatura nulla ed è dunque come se al suo interno la gravitazione terrestre non agisse.

Relatività generale e teorie cosmologiche

Per concludere, la teoria generale della relatività, oltre che fornire una teoria fisica coerente per corpi che si muovono a distanze cosmiche (il livello *megaloscopico* dell'osservazione fisica) ha reso possibile di nuovo la *cosmologia scientifica*, lo studio delle origini e dell'evoluzione dell'universo. A differenza, però, dell'antica cosmologia filosofica, essa usa il metodo galileiano, matematico e sperimentale. Il principio che ha reso possibile questa estensione dello studio matematico–sperimentale fino all'indagine sull'origine e lo sviluppo dell'universo è legato alla rivoluzione concettuale che la relatività generale ha introdotto nella concezione fisico–matematica dello spazio–tempo. Nella meccanica classica, ma anche nella relatività ristretta, lo spazio e il tempo erano intesi come contenitori, non influenzati dagli eventi dinamici che avvengono al loro interno. Viceversa, con la relatività generale, la struttura dello spazio-tempo fisico viene modificata dagli eventi che avvengono al suo interno. Addirittura, dato il carattere espansivo dell'universo, spazio e tempo interni all'universo fisico vengono «creati» dall'allontanarsi reciproco dei corpi che compongono l'universo stesso. Anche da questo punto di vista, il quadro monolitico della scienza antica e moderna delle origini è stato profondamente modificato.

## 2.6 Scienza della complessità

### 2.6.1 Instabilità dinamica

Nei sistemi studiati dalla meccanica classica lo stato finale è definito univocamente dalle condizioni iniziali

Come abbiamo visto, la rivoluzione quantistica scalfisce l'ideale «classico» newtoniano di spiegazione dei fenomeni fisici. Trovare la legge dei fenomeni che riguardano le particelle più elementari non segue più i principi della meccanica ed elettrodinamica classiche. Essi, in ogni caso, permettevano di concepire il moto di queste particelle come evento in cui un corpo esattamente identificabile segue una traiettoria ben definita nello spazio e nel tempo. In questo senso, gli oggetti della fisica classica assomigliano ai pianeti e sono schematizzabili come punti materiali che si muovono sotto l'azione di campi di forze. Secondo questo schema, accanto ai «corpuscoli elementari» (gli elettroni, i quark, ecc.) vi sono le radiazioni che, come la luce, si propagano sotto forma di onde. In ogni caso, il moto di questi «oggetti» elementari è esattamente determinato dalle loro condizioni iniziali. Se oltre a queste si conosce anche la legge di evoluzione dinamica del sistema (p.es., le leggi del moto), possiamo

prevedere con esattezza la traiettoria futura del corpo e possiamo in un certo senso «immaginarcela» come spostamento di qualcosa nello spazio e nel tempo.

Nella meccanica statistica ci si muove ancora nel contesto dell'ideale classico: incertezza legata all'ignoranza

Se intervengono considerazioni probabilistiche, come nel caso della meccanica statistica, si può pensare che esse siano una scorciatoia per trattare sistemi troppo complessi o che siano il riflesso dell'ignoranza delle circostanze dettagliate in cui si produce il fenomeno. Come la fisica aristotelica e quella cartesiana aborrivano il vuoto, così la fisica classica nel suo complesso aborrisce il caso: non si può ammettere l'esistenza di fenomeni che sfuggano a ogni legge e siano intrinsecamente impredicibili.

Meccanica quantistica opera una prima rivoluzione, evidenziando dei limiti intrinseci alla nostra rappresentazione

Abbiamo visto come la meccanica quantistica abbia messo in crisi queste tradizionali certezze. La necessità di rappresentare matematicamente i fenomeni quantistici mediante il formalismo delle funzioni d'onda fa tramontare, per gli oggetti microscopici, l'ideale della *rappresentabilità univoca* dei loro moti come traiettorie di punti materiali. La necessità di considerazioni probabilistiche si manifesta come espressione di un'intrinseca casualità nella rappresentazione matematica di questi fenomeni che fa tramontare per sempre l'ideale di «precisione assoluta» delle osservazioni e delle previsioni — una precisione incrementabile comunque a piacere — del paradigma newtoniano–laplaciano di scienza fisica.

Ma la meccanica quantistica si muove ancora in un ambito riduzionista

Tuttavia, la meccanica quantistica non era riuscita ancora a scalfire un altro caposaldo del paradigma classico, quello del *riduzionismo fisico:* il più semplice e il più originario spiega il più complesso e il più recente. Anzi, lo studio intensivo delle particelle fondamentali, per rivelare i segreti più intimi della materia ed insieme chiarire i problemi relativi all'origine dell'universo stesso, era guidato da un ideale completamente riduzionista. L'ideale riduzionista, tipico della fisica classica ma condiviso anche dalla meccanica quantistica ha due direzioni, *sincronica* e *diacronica:*

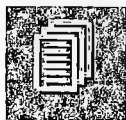
Duplice direzione del principio riduzionista, sincronica e diacronica

- *Sincronicamente,* ridurre il complesso al semplice. Ricondurre il comportamento di sistemi complessi, ossia costituiti da un numero enorme di particelle — tutti i corpi oggetto della nostra esperienza ordinaria studiati dalla fisica macroscopica, dai minerali agli organismi viventi — alle leggi che regolano il comportamento di questi costituenti elementari.

- *Diacronicamente,* ridurre lo stato finale alle condizioni iniziali. Tutti i sistemi dinamici a molte particelle studiati dalla meccanica classica, dalla meccanica statistica e dalla meccanica quantistica sono sistemi *stabili,* ovvero lo stato finale del sistema può essere univocamente

determinato dalle sue condizioni iniziali (stato iniziale + leggi di evoluzione dinamica).

La scoperta dell'instabilità dinamica all'interno di particolari sistemi della meccanica classica nel problema gravitazionale «a tre corpi» di Poincaré

Questo quadro era però stato scalfito già alla fine dell'800 dalla scoperta, avvenuta nel 1890 da parte del grande fisico–matematico francese Henri Poincaré (1854-1912) dal fenomeno dell'*instabilità dinamica* nello studio di sistemi meccanici classici, non microscopici, apparentemente semplici. Lo studio, per esempio, dell'evoluzione dinamica di un sistema di tre corpi (p.es., sole, terra, luna) che interagivano mediante forze gravitazionali. Ebbene, malgrado il sistema fosse governato da *equazioni differenziali**, il carattere *non-lineare* di queste equazioni, dovuto al fatto che si stava studiando l'interazione fra tre corpi — e non «due a due» (p.es., terra-sole, sole–luna e terra–luna) come nel classico approccio newtoniano ai problemi gravitazionali «a molti corpi» — faceva sì che il sistema di equazioni stesso risultasse non solo *non–integrabile* — nel senso dell'impossibilità di poter fornire una soluzione esatta delle equazioni del moto —, ma anche *instabile*.

Variando di un ε le condizioni iniziali, le conseguenti traiettorie nello *spazio delle fasi** con cui rappresentare l'evoluzione dinamica del sistema, invece di rimanere distanziate di ε (= condizione di *stabilità dinamica*), *divergono esponenzialmente* fra di loro (= condizione d'*instabilità dinamica*).

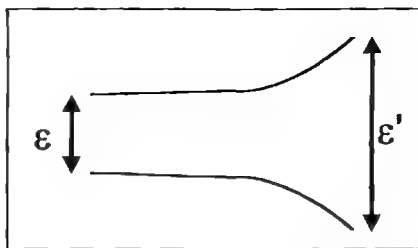



Figura 2-6. Divergenza esponenziale delle traiettorie nello *spazio delle fasi** in fenomeni d'instabilità dinamica. L'ε iniziale di imprecisione nella determinazione delle condizioni iniziali del sistema, è amplificato dalla dinamica medesima, così da rendere impossibile qualsiasi previsione nel lungo periodo.

L'incertezza non rimane confinata entro un valore determinato come in quantistica, ma viene amplificata dal sistema

È come se, il sistema stesso, nel corso della sua evoluzione, *amplificasse* l'incertezza ε — ineliminabile in qualsiasi sistema fisico in quanto finito — nella determinazione delle condizioni iniziali (posizione e quantità di moto) del moto dei corpi che costituiscono il sistema. In un sistema dinamico *instabile*, una piccola differenza nella determinazione delle condizioni iniziali del moto, produce grandi differenze nella determinazione dello stato finale del sistema (Cfr. Figura 2-6). Cosa che non avviene nei

sistemi dinamici *stabili*: l'imprecisione nella determinazione delle condizioni iniziali è la stessa che si ritrova nello stato finale. In tal modo, se si volesse stabilire con maggiore precisione lo stato finale, in un sistema stabile sarebbe sufficiente aumentare la precisione nella definizione dello stato iniziale. Nei sistemi instabili invece, per quanto si aumenti la precisione comunque finita della definizione dello stato iniziale, si ottiene sempre un'incertezza molto maggiore nella determinazione dello stato finale. Un'incertezza che rende l'evoluzione dinamica dello stesso, sul lungo periodo, completamente *impredicibile*.

Fine dell'ideale riduzionista e determinista laplaciano di scienza classica.

Per fornire una sorta di illustrazione intuitiva del principio: nei sistemi stabili è come se io lasciassi cadere una pallina lungo le pareti di vaso chiuso. Anche variando di molto la condizione iniziale della posizione della pallina lungo le pareti del vaso, con assoluta certezza so che, dopo un transitorio più o meno lungo, unica sarà la posizione finale stabile della pallina sul fondo del vaso. Viceversa, se ponessi la medesima pallina sulla cima di un monte, una piccolissima differenza nelle condizioni iniziali del moto della pallina — una piccola variazione nella posizione o nella direzione dell'impulso iniziale — determinerebbe una grossa variazione nello stato finale. P.es., determinerà se la pallina cadrà lungo il versante sud o nord del monte in questione.. Ecco come Poincaré stesso spiegava questa sua inquietante scoperta, che cancellava d'un colpo solo l'ideale della meccanica classica come regno del determinismo riduzionista più assoluto, secondo quanto il «principio del démone di Laplace», enunciato solo un secolo prima e sopra ricordato, esemplificava (Cfr. sopra, p. 66).

> Una causa piccolissima che sfugga alla nostra attenzione determina un effetto considerevole che non possiamo mancar di vedere, e allora diciamo che l'effetto è dovuto al caso. Se conoscessimo esattamente le leggi della natura e la situazione dello stesso universo all'istante iniziale potremmo prevedere esattamente la situazione dello stesso universo in un istante successivo (il demone di Laplace idealizzato, *N.d.R.*). Tuttavia, se pure accadesse che le leggi naturali non avessero più alcun segreto per noi, *anche in tal caso potremmo conoscere la situazione iniziale solo approssimativamente*. Se questo ci permettesse di prevedere la situazione con la stessa approssimazione, non ci occorrerebbe di più e dovremmo dire che il fenomeno è stato previsto ed è governato da leggi (la meccanica classica come realizzazione parziale del demone laplaciano, *N.d.R.* Cfr. sopra, p. 66). Ma non sempre è così: può accadere che piccole differenze nelle condizioni iniziali ne producano di grandissime nei fenomeni finali. Un piccolo errore nelle prime pro-

duce un errore enorme nei secondi. La previsione diviene *impossibile* e si ha un fenomeno fortuito[59]

L'aleatorietà di un sistema instabile non dipende da un'insufficienza nel numero variabili nella rappresentazione come nei sistemi studiati dalla meccanica statistica

La complessità del comportamento in un sistema instabile non dipende, allora, dal numero delle variabili coinvolte e quindi dall'insufficienza della rappresentazione. Un numero molto piccolo di variabili (*gradi di libertà**) del sistema (tre) può già determinare una variabilità enorme ed irriducibile nel comportamento dello stesso. Un sistema dinamico instabile è perciò *qualitativamente differente* dai sistemi studiati dalla meccanica statistica classica che soddisfacevano alla cosiddetta *ipotesi ergodica di Boltzmann*. L'ipotesi, cioè, che l'aleatorietà fosse legata all'aumento del numero dei gradi di libertà del sistema, dato che l'evoluzione dinamica dello stesso lo avrebbe portato immancabilmente — come nel caso della termodinamica dei gas: Cfr. sopra § 2.3.2, pp. 104ss. — ad assumere tutte le configurazioni compatibili con il principio di conservazione dell'energia. Un'ipotesi questa che faceva sì che, anche nel caso di questi sistemi a moltissime particelle, lo stato finale potesse essere comunque univocamente definito. Nella termodinamica statistica classica, il sistema tenderà necessariamente ad un unico stato finale possibile, lo stato più probabile, lo stato di equilibrio, di minima energia o di massima entropia. Un modo geniale questo di Boltzman di coniugare caso e necessità, così da mantenere immutato il paradigma determinista, anche all'interno della meccanica statistica. Infatti, grazie all'*ipotesi ergodica*, l'irreversibilità dei fenomeni termodinamici risultava perfettamente compatibile con le leggi deterministiche, perfettamente reversibili, della meccanica classica. Altri stati del sistema più ordinati restavano ugualmente possibili, solo che, essendo particolarmente improbabili, perché si ripresentassero spontaneamente, occorrerebbe un tempo talmente lungo (il cosiddetto *tempo di ricorrenza di Poincaré*) da renderli praticamente inosservabili. Torneremo in seguito su questo punto esenziale per comprendere metafisicamente il rapporto fra *contingenza* e *determinismo* e quindi il nucleo della teoria della complessità (Cfr. § 2.7.2, pp.162ss.).

In tali sistemi l'aleatorieà è estrinseca al sistema dinamico

In sintesi, l'incertezza nella determinazione macroscopica di un sistema a molte particelle studiato dalla meccanica statistica è legata unicamente ad un limite *estrinseco* di rappresentazione del sistema. È solo legata al fatto che si sta osservando il sistema con un numero insufficiente di variabili. Non appena si adottasse una risoluzione adeguata, ovvero si aumentasse il numero di gradi di libertà del sistema — p.es., in un gas in agitazione termica si va a considerare il moto delle singole particelle —, l'aleatorietà scomparirebbe, e il sistema diverrebbe perfettamente deterministico.

[59] Da *Science et Mèthode*, citato in (Ruelle 1984, 19).

Nei sistemi instabili l'aleatorietà è intrinseca, è legata all'irriducibile non-linearità del sistema

I gradi di libertà del sistema dinamico studiato da Poincaré, invece, restano sempre e comunque pochi, anzi pochissimi (tre). Nondimeno il sistema è caratterizzato da un'irriducibile aleatorietà nella previsione di lungo periodo. Insomma, quello che Poincaré dimostrò è che la meccanica, sia classica che statistica, era stata fino ad allora applicata a problemi molto semplici, o comunque riducibili a problemi molto semplici. Non appena le cose si complicavano, come nei sistemi irriducibilmente non-lineari del tipo di quello studiato da Poincaré, l'evoluzione dinamica risultava del tutto imprevedibile, almeno per i mezzi formali di calcolo analitico.

Differenza con la meccanica quantistica

Ma l'impredicibilità di un sistema caratterizzato da instabilità dinamica non è neanche legata ad un limite *intrinseco alla rappresentazione* del sistema, ma pur sempre *estrinseco alla dinamica* come l'aleatorietà della meccanica quantistica, scoperta alcune decine di anni dopo il lavoro di Poincaré. In essa, com'è esplicitato dal principio d'indeterminazione (Cfr. sopra § 2.4.3, p. 115s.), l'impredicibilità appare legata alla coniugazione delle variabili, per l'interferenza ineliminabile dello strumento di misura sulla quantità misurata.

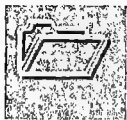
Nella meccanica quantistica l'aleatorietà è legata ad un limite intrinseco, irriducibile, ma sempre e solo nella rappresentazione.

Anzi come ha recentemente ricordato il fisico italiano Giulio Casati, la scoperta delle instabilità dinamiche nella meccanica classica ha portato ad una *situazione paradossale*. La meccanica quantistica è sì una teoria *intrinsecamente probabilistica*. Un'intrinsecità, però, legata — almeno nel modello classico senza decoerentizzazione — alla rappresentazione e al cambio di rappresentazione (dalla rappresentazione in termini di funzione d'onda a quella in termini di traiettoria), non alla dinamica in se stessa. In altri termini, data una funzione di stato $\psi(t)$, che fotografa lo stato del sistema all'istante $t$, è possibile fare solo affermazioni probabilistiche sul fatto che, eseguendo una certa misura su una determinata grandezza (p.es., la posizione, conoscendo la quantità di moto), otterremo un certo valore che definisce lo stato finale. Nondimeno, rispetto all'evoluzione futura del sistema, è possibile fare previsioni, dal momento che in meccanica quantistica siamo generalmente in presenza di sistemi dinamicamente *stabili*. Date le leggi del moto e lo stato iniziale $\psi(0)$, è possibile *predire univocamente* lo stato $\psi(t)$: lo stato futuro del sistema dipende univocamente dallo stato iniziale, l'incertezza iniziale legata al principio d'indeterminazione non viene amplificata dall'evoluzione dinamica del sistema.

I sistemi quantistici sono dinamicamente stabili

Lo stesso non è possibile dire invece in quei sistemi di meccanica classica in cui è presente il fenomeno dell'instabilità dinamica. Qui la natura incerta della previsione non solo è irriducibile, come nel caso della meccanica quantistica, ma è anche *intrinseca* alla *dinamica*, non alla sua sola

rappresentazione formale, come nel caso dell'incertezza della previsione nei sistemi stocastici e nei sistemi quantistici. Insomma,

> malgrado la meccanica quantistica sia intrinsecamente probabilistica (un intrinsecità legata alla rappresentazione, però, *N.d.R.* Cfr. § 2.4.7, pp. 124s.): tuttavia, grazie al suo carattere di stabilità, risulta essere più predicibile della meccanica classica (l'aleatorietà non è intrinseca alla dinamica, *N.d.R.*) (Casati 1991, 9).

Con i sistemi instabili l'aleatorietà diviene ingrediente ineliminabile ed intrinseco dello studio fisico–matematico della natura

Ciò che rende assolutamente unico il fenomeno dell'instabilità dinamica, rispetto alle altre forme di aleatorietà studiate nella fisica–matematica moderna, è che per la prima volta la casualità, l'aleatorietà — ed una casualità irriducibile e catastrofica — appariva come un *ingrediente intrinseco ed ineliminabile* dello studio dei sistemi dinamici, indipendente dall'osservazione empirica e/o dalla rappresentazione formale. La non–linearità, la mancanza di proporzionalità fra modificazione della condizione iniziale e modificazione dello stato finale, o se vogliamo, una mancanza di proporzione fra causa ed effetto — in un'interpretazione realista di essa[60] —, entrava di prepotenza nell'arena della scienza moderna. E vi entrava con tutta la sua carica di *confutazione al principio riduzionista*, evidentemente basato su un'eccessiva confidenza nel carattere ultimamente lineare di tutte le leggi fisiche, a cominciare da quella paradigmatica della seconda legge della dinamica.

La nuova situazione introdotta nel quadro delle scienze fisiche moderne dalla scoperta delle instabilità dinamiche, è riassunto nella seguente Tavola I.

---

[60] Per esempio, quella che ne dava Aristotele, al riguardo di processi fisici che oggi noi modellizziamo in termini di instabilità dinamica, di «caos deterministico» o «di processi di auto–organizzazione». Nel suo realismo metafisico egli parlava invece di «processi di generazione/corruzione di forme naturali» e, proprio per questo, di fallacia dell'ipotesi atomistico–geometrica nella filosofia della natura. È questa la radice della famosa teoria aristotelica delle «quattro cause», di cui ci occuperemo all'inizio della Seconda Parte.

| ALEATORIETÀ | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sistemi Stabili | | Meccanica Classica | Meccanica Statistica | Meccanica Quantistica |
| | Nessuna | Sistemi Lineari | | |
| | Estrinseca | | Sistemi Stocastici | |
| | Intrinseca alla Rappresentazione | | | Sistemi Quantistici |
| Sistemi In-stabili | Intrinseca alla Dinamica | Sistemi Non-Lineari | | Caos quantistico? |

Tavola I. Quadro riassuntivo della distinzione fra sistemi stabili ed instabili nella fisica contemporanea

## 2.6.2 Caos deterministico[61]

La scoperta dell'instabilità dinamica non poteva bastare da sé sola a giustificare la nascita di quel nuovo paradigma, nella scienza contemporanea, che va sotto il nome di *teoria della complessità*[62]. Per arrivare a tutto questo, occorreva un ulteriore passo, quello legato ad una «sorpresa» che lo studio delle instabilità dinamiche portò oltre settant'anni dopo la scoperta di Poincaré.

[61] Per un'introduzione divulgativa al concetto di «caos deterministico», è sempre da consigliare quello che è ormai un classico della divulgazione scientifica, il testo di James Gleick che conta ormai anche svariate edizioni in lingua italiana (Gleick 2000). Per una raccolta introduttoria di saggi più scientificamente orientati e anch'essi ormai classici sull'argomento, Cfr. (Casati 1991).

[62] La nozione scientifica di «complessità» è particolarmente onerosa da definire. Su questo problema, si veda il recente lavoro di F. T. Arecchi, uno dei primi studiosi italiani del caos deterministico, e di A. Farini sul *lessico della complessità* (Arecchi & Farini 1997).

Sistemi caotici presenti ad ogni livello dell'indagine fisica

La «sorpresa» consistette nel fatto che quello che sembrava semplicemente un limite, in qualche modo invalicabile, alle possibilità predittive e dunque esplicative della meccanica classica, oggi appare invece uno dei campi più fecondi della ricerca fisica per lo studio *dell'emergenza dell'ordine dal caos* sotto l'azione di determinate cause — quindi secondo processi riportabili a leggi —, tanto da dar luogo ad una nuova branca della ricerca fisica stessa, che va sotto il nome di teoria o *fisica della complessità*. Essa a tutt'oggi è in grado di applicare i suoi modelli *descrittivi* — anche se non ancora *esplicativi in senso matematico*, per la mancanza di una teoria formale adeguata dei sistemi complessi — in campi finora preclusi alla ricerca fisica. Ed è in grado di far questo in modo «trasversale» alla suddivisione da noi stessi adottata in questo capitolo fra livello *microscopico* (meccanica quantistica), *mesoscopico* (termodinamica), *macroscopico* (meccanica classica), *megaloscopico* (relatività generale) d'indagine fisica. Esempi di sistemi instabili si possono trovare a tutti e quattro questi livelli.

Presenza di fenomeni caotici anche a livello dei sistemi quantistici

In particolare, una classe di sistemi instabili, i *sistemi caotici*, appaiono estremamente promettenti dal punto di vista dello studio sia teorico, che sperimentale per produrre modelli matematici applicabili in tantissimi campi dello studio fisico: dallo studio delle turbolenze, a quello della dinamica i sistemi chimici oscillanti, a quello di svariate funzioni metaboliche nei sistemi biologici (Ruelle 1992; Serra & Zanarini 1986), a quello di funzioni fisiologiche (p.es., battito cardiaco; dinamiche del flusso arterioso) e neurofisiologiche (p.es., dinamiche di singoli neuroni e di reti di neuroni nei sistemi nervosi di svariati animali) estremamente complesse (Belardinelli & Pizzi 1993; Freeman 2000). Oltre che nel campo dei sistemi fisici macroscopici e mesoscopici cui si riferivano gli esempi appena citati, altri esempi noti di sistemi caotici riguardano sistemi megaloscopici, come la dinamica delle galassie, ma anche sistemi microscopici dal momento che si è scoperta l'esistenza anche del *caos quantistico*, di sistemi instabili anche in meccanica quantistica cui non è possibile applicare con successo previsivo il formalismo classico della funzione d'onda lineare di Schrödinger (Prigogine 1999).

Possibilità di applicare modelli caotici anche nelle scienze umane

Ma i campi dell'applicabilità dei modelli caotici non si limitano allo studio delle sole scienze naturali, fisico–matematiche. Si estende anche alle scienze dell'uomo, con modelli applicati alla descrizione delle dinamiche macro– e micro–economiche dei mercati in economia (Anderson *et al.* 1988; Gatto & Marino 1998); allo studio delle dinamiche delle popola-

---

[63] Per un'introduzione divulgativa al concetto di «caos deterministico», è sempre da consigliare quello che è ormai un classico della divulgazione scientifica, il testo di James Gleick che conta ormai anche svariate edizioni in lingua italiana (Gleick 2000). Per una raccolta introduttoria di saggi più scientificamente orientati e anch'essi ormai classici sull'argomento, Cfr. (Casati 1991).

zioni in sociologia; allo studio di dinamiche percettive in psicologia, fino addirittura allo studio di strategie creative del management aziendale (Stacey 1996)… Praticamente non esiste campo delle scienze matematiche applicate moderne, sia della natura che dell'uomo, in cui modelli di tipo caotico non possano essere applicati con diversi gradi di successo, ad una caratterizzazione, almeno descrittiva, del comportamento dinamico (evoluzione nel tempo) dei più svariati sistemi, fisici, chimici biologici e umani, studiati da queste scienze.

Mancanza a tutt'oggi di una teoria esplicativa del caos deterministico

Sebbene a tutt'oggi non esista una teoria matematica esplicativa soddisfacente dei sistemi caotici — ed è questo il motivo per cui i modelli caotici applicati allo studio di fenomeni sia naturali che umani non possono essere a loro volta esplicativi di questi fenomeni, in grado cioè di definire *leggi dinamiche di evoluzione* dei fenomeni stessi, così da renderli in qualche modo *controllabili* —, esiste tuttavia la possibilità di fornire una *caratterizzazione matematica descrittiva* di tali sistemi. Esistono, in altre parole, diverse misure che possono essere usate come definenti altrettante condizioni necessarie per affermare se un determinato sistema dinamico sia «caotico» o no[64]. Nessuno però conosce una condizione o insieme di condizioni che possano definirsi non solo necessarie, ma anche sufficienti per l'esistenza di un sistema caotico. Se conoscessimo questo insieme di condizioni, vuol dire che avremmo una teoria esplicativa dei sistemi caotici.

I sistemi caotici non sono assimilabili ai sistemi stocastici

Ciò che, negativamente, si può dire è che i sistemi caotici non sono assimilabili ai *sistemi stocastici* studiati tradizionalmente nella meccanica statistica, secondo il paradigma dato dall'*equazione di Langevin* (Paul Langevin, 1872-1946), originariamente sviluppata per la caratterizzazione del *moto browniano,* quello, p.es., tipico del moto casuale non equilibrato di particelle in agitazione termica. Secondo questa equazione, la funzione $v(x)$, che descrive l'evoluzione macroscopica di una quantità osservabile $x$ del sistema, non è sufficiente per descrivere lo stato istantaneo di $x$. Ad essa bisogna aggiungere un termine perturbativo (rumore) secondo la seguente equazione:

$$\frac{dx}{dt} = v(x) + \sigma(x)\xi$$

dove $\sigma(x)$ è l'ampiezza della perturbazione e $\xi = {}^{dw}/_{dt}$ è conosciuta come un «rumore bianco», un termine perturbativo che può essere con-

---

[64] Una di queste misure è quella dell'*esponente di Lyapunov* che misura la distanza fra punti successivi della traiettoria nello spazio delle fasi, così che un'esponente positivo è indice di una divergenza e quindi di una possibile *caoticità* del sistema (Cfr. Figura 2-6, p. 144).

siderato come derivata di un processo di Wiener. Come si vede dalla forma dell'equazione, il rumore, l'aleatorietà appare come un termine *estrinseco*, additivo alla dinamica $v(x)$. Ed infatti, nella formalizzazione di Langevin, tale termine vuole esprimere appunto l'effetto di una perturbazione casuale, costantemente applicata al sistema «dal di fuori». Nel caso dell'instabilità dinamica, siamo confrontati invece con un *termine intrinseco di aleatorietà*, legato all'evoluzione dinamica stessa del sistema e non «aggiunto dal di fuori».

Impredicibilità sul lungo periodo del comportamento dei sistemi caotici

Cosa s'intende dunque col termine di *sistema caotico* e con l'espressione apparentemente paradossale di «caos deterministico»?. L'espressione vuol connotare, appunto, un processo fisico *deterministico*, in cui il passo successivo dipende causalmente dallo stato precedente del sistema com'è espresso formalmente dal fatto, per esempio, che la dinamica può essere rappresentata attraverso un'equazione differenziale[65]. La natura irriducibilmente non–lineare dell'equazione però è all'origine, per il fenomeno della divergenza esponenziale delle traiettorie, dell'intrinseca impredicibilità del sistema sul comportamento di *lungo periodo*. Conosciute con una precisione incrementabile a piacere, ma comunque sempre finita, le condizioni iniziali non si potrà mai prevedere con certezza lo stato finale, oppure — che è poi il caso sperimentalmente più realistico —, dallo stato finale del sistema non si potrà mai risalire ad un unico insieme di condizioni iniziali.

Carattere non–ergodico dei sistemi caotici a differenza di altri tipi di sistemi instabili

Ciò che rende teoreticamente assai interessante i sistemi caotici è che sono sistemi dinamici molto semplici, instabili, il cui comportamento non segue *l'ipotesi ergodica*. A differenza, per esempio, del classico sistema dinamico instabile studiato dal matematico ebreo-russo Yasha Sinai. Egli ha dimostrato l'ergodicità di un sistema dinamico instabile assai semplice: quello del biliardo con ostacoli circolari convessi. Dopo pochi urti di una pallina con una superficie curvata positivamente, l'amplificazione delle differenze iniziali cresce così velocemente da rendere assolutamente impredicibile lo stato finale (Ruelle 1984, 15). È per questo che le pareti dei biliardi tradizionali sono rigorosamente rettilinee! Viceversa, i sistemi caotici non soddisfano all'ipotesi ergodica, come d'altra parte non soddisfano ad essa molti sistemi dinamici, come il cosiddetto teorema KAM (Kolmogorov-Arnold-Moser) ha dimostrato negli anni '50 (Ruelle 1984; Vulpiani 1994).

Il sistema caotico studiato da Lorenz

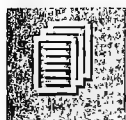
Il primo esempio di comportamento caotico di un sistema dinamico normalmente citato in letteratura, è quello studiato dal fisico americano Edward N. Lorenz del MIT di Boston nel 1963 (Lorenz 1963). Tale si-

[65] Esistono naturalmente anche esempi di sistemi caotici non–differenziabili, ma qui non vogliamo entrare in tali approfondimenti.

stema era stato da lui ideato come modello matematico di certi fenomeni di turbolenza dell'atmosfera, in vista del miglioramento delle previsioni metereologiche. Recentemente, nel 1999, proprio riguardo al sistema caotico studiato da Lorenz, Warwin Tucker dell'Università di Upsala ha fornito la dimostrazione matematica del comportamento caotico del sistema di equazioni studiato da Lorenz. In pratica, ha dimostrato *l'esistenza* in senso matematico dell'*attrattore** «strano» o caotico di Lorenz (Tucker 1999; Viana 2000).

Le recenti conferme matematiche dei sistemi caotici

Questa dimostrazione fuga ogni dubbio — se mai vi fosse rimasto — che il caos non è una sorta d'invenzione del computer, derivato dal fatto che esso calcola numericamente l'evoluzione dinamica di un sistema, dunque con una precisione finita. Al contrario, i modelli matematici dei sistemi caotici costituiscono una classe di enti matematici con la medesima dignità di altri e, sicuramente, molto più affascinanti e misteriosi di altri, forse di tutti quelli studiati finora (Stuart 2000).

Caratterizzazione cinematica (geometrica) dei sistemi dinamici stabili. Nozione di attrattore

Per introdurci ad una caratterizzazione *cinematica**, geometrico–meccanica, del comportamento caotico di un sistema dinamico del tipo di quello di Lorenz, bisogna approfondire la nozione di *spazio delle fasi** come strumento potente per la rappresentazione geometrica, del comportamento dei sistemi dinamici nel breve e nel lungo periodo. Per esempio, se rappresentiamo in uno spazio delle fasi bidimensionale, con in ascissa *la posizione* ed in ordinata *la quantità di moto* (velocità), il comportamento di un pendolo sottoposto ad attrito che sta smorzando il suo moto, i diversi stati che il pendolo assumerà nel tempo saranno rappresentati da altrettanti punti nel suddetto spazio delle fasi. Questi punti si disporranno lungo una traiettoria a forma di spirale, a spire sempre più strette, che alla fine tenderà ad un punto che rappresenterà lo stato di quiete a cui il pendolo necessariamente giungerà. Il punto finale non si muove, è un *punto fisso,* e poiché esso è come se attraesse a sé orbite che partono da punti (condizioni iniziali) diverse (p.es., si può far iniziare l'oscillazione del pendolo da altezze diverse) esso è definito come *attrattore**, per l'esattezza, *attrattore di punto fisso* della dinamica.

Attrattore di punto fisso

L'attrattore di punto fisso rappresenta così molto bene il comportamento dinamico di una miriade di sistemi dinamici come, p.es., il nostro pendolo soggetto ad attrito. In tutti questi sistemi lo stato finale sarà uno stato di quiete, indipendentemente da quelle che erano le condizioni iniziali del moto di questi sistemi (Cfr. Figura 2-7).

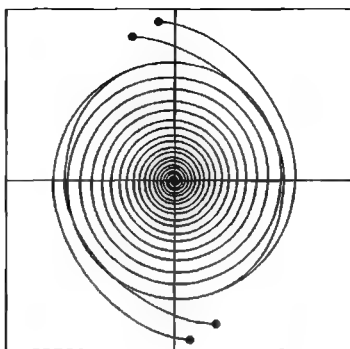



Figura 2-7. Attrattore di punto fisso. Come si vede, anche partendo da condizioni iniziali molto diverse (i punti di origine delle linee fuori della spirale), il sistema si stabilizza su un'unica traiettoria a spirale e quindi su un unico stato finale di quiete.

Attrattore di ciclo limite

Altri sistemi stabili, invece, nel lungo periodo, non tendono alla quiete, ma piuttosto a ripetere periodicamente un certo comportamento. Un esempio è costituito dal suddetto pendolo, quando l'energia che viene consumata dagli attriti viene reintegrata da un meccanismo a molla di un orologio. In tal caso, lo stato finale, il comportamento-limite in cui il sistema si stabilizzerà, non è uno stato di quiete, ma un'oscillazione periodica. Geometricamente l'attrattore non sarà rappresentato da un punto fisso (stato di quiete), ma da una curva chiusa, da un ciclo limite (moto periodico). Molti sistemi stabili esibiscono sul lungo periodo un comportamento simile, il battito del cuore dopo uno sforzo, per esempio.

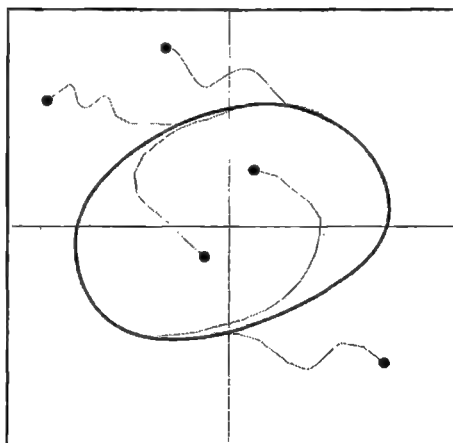



Figura 2-8. Attrattore di ciclo limite. Sebbene parta da condizioni iniziali molto diverse, il sistema nel lungo periodo, al limite, tenderà a stabilizzarsi in un

comportamento periodico, un ciclo, rappresentato nello spazio di fase da una curva chiusa.

Attrattore a forma di toro per sistemi dinamici stabili più complessi

Altri sistemi si stabilizzano invece su comportamenti quasi–periodici, ovvero si stabilizzano su ciclicità più complesse che nascono dalla combinazione di due o più comportamenti oscillatori (pseudo–cicli). In questo caso, l'attrattore non sarà costituito da una traiettoria unidimensionale, un ciclo–limite, ma da un *toro* (una sorta di ciambella) *bidimensionale* — ma ne possono esistere di *n*-dimensionali nello spazio di fase —, costituita dall'inviluppo di questi pseudo–cicli. Malgrado questa complessità di struttura, il sistema risulta però prevedibile. Anche se l'orbita non si ripete mai esattamente — altrimenti saremmo di fronte ad un ciclo–limite —, come accade se le frequenze di un moto periodico non hanno lo stesso divisore, pur tuttavia orbite che cominciano vicine sul toro restano vicine. Siamo cioè sempre di fronte ad un sistema *stabile*.

Classicamente, lo studio degli attrattori terminava qui.

Fino alla scoperta di Lorenz, si pensava che la tipologia di attrattori nello spazio delle fasi dovesse esaurirsi a questi casi: punti fissi, cicli limite, tori, dunque a sistemi *stabili*. Rimanevano i sistemi che obbedivano all'ipotesi ergodica di Boltzmann sopra ricordata. Il loro comportamento al tempo limite, però, avrebbe ricoperto uniformemente tutto lo spazio delle fasi, senza dar luogo all'esistenza di alcun attrattore.

La scoperta di Lorenz degli attrattori «strani» o caotici. Carattere anomalo dei sistemi caotici: instabili, eppure manifestano una struttura

Lorenz, per modellizzare matematicamente il comportamento di un fluido molto complesso quale l'atmosfera, partendo da equazioni del moto di un fluido a tre soli gradi di libertà,

$$\dot{x} = -\sigma \cdot (x - y)$$
$$\dot{y} = R \cdot x - y - xz$$
$$\dot{z} = -bz + xy$$

ha scoperto un comportamento di questo sistema non riportabile ad alcuna delle tipologie finora conosciute. Il sistema esibiva chiaramente un comportamento aleatorio dovuto al fenomeno della divergenza esponenziale delle traiettorie. Orbite che cominciavano vicine non restavano tali, ma si allontanavano rapidamente fra di loro. Nondimeno, simulando il sistema al computer e riportando su un grafico dello spazio di fase il suo comportamento di lungo periodo, esso non andava a ricoprire tutto lo spazio di fase, ma solo un volume finito di esso. Dava luogo, cioè, ad un attrattore, un attrattore però non riportabile a nessuno dei tipi fino allora studiati per i sistemi stabili e che per questo fu chiamato *attrattore strano* o *caotico* (Cfr. Figura 2-9).

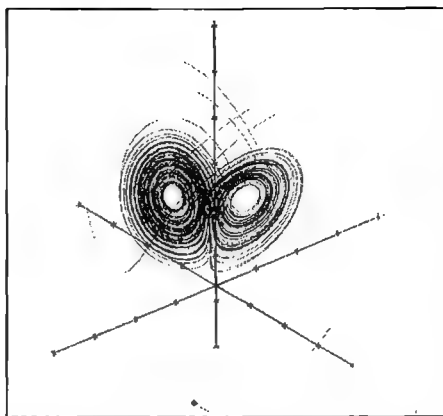



Figura 2-9. Attrattore caotico di Lorenz. Si noterà come, malgrado il fenomeno della divergenza esponenziale, il sistema nel lungo periodo tende a localizzarsi in un volume finito dello spazio di fase, definito «attrattore caotico».

Dopo Lorenz, scoperta di numerosi altri esempi di attrattore caotico

Dopo la scoperta di Lorenz numerosi altri attrattori strani o caotici furono scoperti, sia in studi di matematica astratta che applicata al tentativo di modellizzare attraverso di essi i più diversi sistemi complessi, tanto nelle scienze naturali che nelle scienze dell'uomo.

Tentativo di fornire una spiegazione almeno dell'origine di un comportamento caotico con la «trasformazione del fornaio»

Tornando ai sistemi dinamici della fisica, un tentativo di spiegare almeno l'origine di un comportamento così originale può essere dato nel modo seguente. Essendo lo spazio di fase di un sistema fisico comunque finito, anche nel caso della divergenza esponenziale, esse prima o poi dovranno ricapitare vicine. La spiegazione fisica più ragionevole di tale vincolo è, p.es., la presenza di attriti. È questo il caso dei sistemi caotici dissipativi, fra i più interessanti a studiarsi in chimica e biologia, dato che la gran parte dei sistemi chimici e *tutti* i sistemi biologici sono sistemi dissipativi. Geometricamente, si può rappresentare tutto questo affermando che le traiettorie che su due dimensioni divergono e continuano sempre a divergere l'una rispetto all'altra, è come se si riavvicinassero l'una rispetto all'altra su una terza dimensione. Un po' come fa il fornaio quando impasta: quando stira la pasta, due punti vicini si allontanano. Quando la ripiega su se stessa, riavvicina questi punti, ma su una terza dimensione. Sulle prime due, i due punti continuano ad essere distanti.

Dinamiche caotiche caratterizzate da pseudo-cicli e comportamento quasi–periodico

È come, insomma, se lo spazio di fase si ripiegasse su se stesso, dando luogo ad un comportamento quasi–periodico. Le traiettorie pur continuando a divergere su due dimensioni ripasseranno vicine l'una all'altra sulla terza dimensione, entro un dato $\varepsilon$, senza rinchiudersi mai perfettamente su se stesse, costituendo così degli pseudo–cicli, molto diversi da quelli delle pseudo–ciclicità di un toro. Infatti, traiettorie che comin-

ciano vicine sull'attrattore non restano affatto vicine. Data la sua instabilità e non-stazionarietà, il sistema può saltare in maniera impredicibile fra uno pseudo–ciclo e l'altro, rimanendo su ciascuno per intervalli di tempo assolutamente irregolari e non predicibili. Di qui la struttura complessa, «strana» dell'attrattore.

Carattere «frattale» degli attrattori caotici

Tutto ciò porta ad *un'altra proprietà*, la cosiddetta *struttura frattale* dell'attrattore strano o caotico. A causa del fenomeno della divergenza esponenziale e del ripiegamento su se stesse, è come se le traiettorie si allontanassero (per la divergenza) e si riavvicinassero (per la dissipazione) continuamente fra di loro, dando luogo a pseudo–cicli sempre più complessi e articolati. Tornando alla metafora della «trasformazione del fornaio», quando egli stira la pasta due punti vicini si allontanano, quando la ripiega si riavvicinano, ma in un modo sempre diverso da com'erano prima vicini, attraverso percorsi *irreversibili* e dunque assolutamente impredicibili. Attraverso questo processo di dispiegamento–ripiegamento indefinito, di rimescolamento continuo delle traiettorie, di creazione di pseudo–ciclicità sempre più indefinitamente complesse, l'attrattore caotico acquista la tipica struttura di un oggetto geometrico *frattale*, auto–similare. Una struttura che ripete indefinitamente se stessa, a qualsiasi risoluzione uno la guardi, senza collassare mai in un oggetto semplice, un punto o una linea uni–dimesionale (Cfr. Figura 2-10).

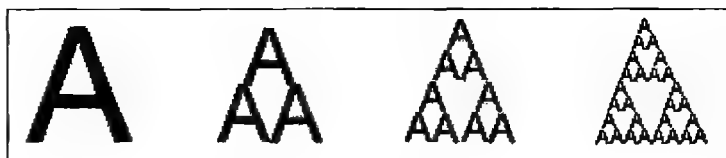



Figura 2-10. Classico esempio di oggetto frattale, caratterizzato da una proprietà di *auto–similarità*. P.es., se osservassimo con una lente d'ingrandimento la prima «A» della figura, non vedremmo tante piccole «A», ma semplicemente delle macchioline d'inchiostro. A diverse risoluzioni l'oggetto non mantiene la stessa struttura, non è auto–similare. L'oggetto possiede una struttura, solo ad una data risoluzione. Viceversa, a qualsiasi risoluzione si guardi un oggetto frattale esso manifesta sempre una struttura che ripete indefinitamente se stessa. Nella figura, è questo il caso, della seconda, terza, quarta immagine della figura generabili dalla prima «A» attraverso un processo ricorsivo di costruzione, reiterabile indefinitamente a risoluzioni sempre maggiori.

Se queste due caratteristiche — pseudo–ciclicità, o quasi–periodicità complessa (Cfr. Figura 2-11), e frattalità — sono le proprietà geometriche emergenti di un attrattore caotico si comprende come, da un punto di vista sistematico, il tentativo più promettente di fornire una caratteriz-

zazione matematica di un sistema caotico è quella di caratterizzarlo mediante uno sviluppo in serie di pseudo–cicli con periodicità sempre più lunghe[66], fino a coprire tutto l'attrattore caotico (Auerbach *et al.* 1987).

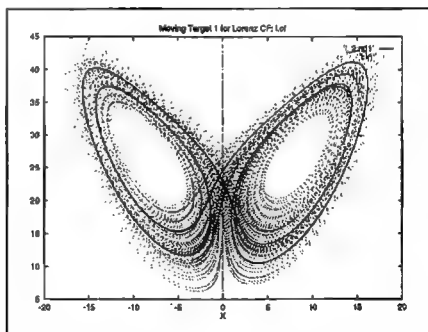



Figura 2-11 Tipico pseudo-ciclo dell'attrattore di Lorenz. Come si vede, non siamo di fronte ad una traiettoria chiusa su se stessa, ma il sistema ripassa sempre solo nelle vicinanze di un determinato punto, senza mai ripassarci esattamente sopra. Per questo si parla di pseudo-ciclo e, corrispondentemente, di comportamento quasi–periodico.

Tipico pseudo-ciclo dell'attrattore di Lorenz

In questo caso, il comportamento aleatorio del sistema sarebbe interpretabile nello spazio di fase come derivante dallo stazionamento del medesimo, per un certo intervallo di tempo imprevedibile, su uno pseudo–ciclo, per saltare repentinamente e senza alcuna prevedibilità su un altro, e così via indefinitamente, su tutti gli pseudo–cicli in cui è scomponibile l'attrattore.

---

[66] P.es., la sequenza simbolica ABCDABCDABCD… ha periodicità 4, ogni quattro occorrenze si ripresenterà la medesima sotto–sequenza. Il tutto costituisce così un ciclo di ordine 4. Un caso simile è quello della sequenza ZBNPZBNPZBNP che sarà sempre un ciclo di ordine 4. La sequenza XCGDXWQCOXUI XCGDXWQCOXUI XCGDXWQCOXUI ha invece periodicità 12. La sequenza:
XCGDXWQCOXUIYCGDXWQCOXUIWCGDXWQCOXUIZCGDXWQCOXUI
è costituita invece da pseudo–cicli di ordine 12. Infatti all'inizio di ogni sotto–sequenza regolare indicata dalla lettera sottolineata, non c'è la medesima lettera X, ma lettere ad essa vicine nell'alfabeto internazionale, p.es.: Y, Z, W. Il ciclo ogni dodici passi non si richiude su se stesso, ma passa vicino al suo punto di partenza. Geometricamente, nello spazio delle fasi di questa dinamica simbolica, dovrebbe essere rappresentato da una curva aperta con estremità vicine: costituisce così uno pseudo-ciclo.
XCGWRQTYZDFGDXWQLKJHYUFPOCOXUINGFDWCGDXCXDWQCBV CFERTWPIUOXUI costituisce invece un tipico esempio di sequenza caotica, in cui pezzi di lunghezza diversa di uno pseudo–ciclo X(W)CGDXWQCOXUI si ripetono a intervalli variabili in maniera imprevedibile. Intervalli che costituiscono a loro volta pezzi di altri pseudo–cicli. Ciò fa sì che, nel suo complesso, la sequenza appaia come una sequenza casuale, mentre effettivamente non lo è: ha una struttura.

Il risultato di questo comportamento di un sistema caotico rispetto alla sua prevedibilità è che, malgrado il sistema sia confinato sul volume finito dell'attrattore, se al momento $t_1$ esso si trova su un punto qualsiasi di una delle indefinite traiettorie quasi–periodiche che compongono l'attrattore, al momento successivo $t_2$ potrebbe trovarsi in un altro punto qualsiasi dell'attrattore stesso, su un altro pseudo–ciclo, senza alcuna possibilità di predire a priori dove e quando il sistema si troverà su un dato punto dell'attrattore. L'incertezza iniziale, comunque piccola, è come se si fosse amplificata per tutta l'ampiezza dell'attrattore, senza alcuna possibilità di scorciatoie per prevedere il futuro. A differenza degli pseudo–cicli che caratterizzano un attrattore a forma di toro, qui le traiettorie sono tutt'altro che stabili: punti vicini non rimangono vicini: in qualsiasi momento essi possono essere «sparati» dalla dinamica in qualsiasi zona dell'attrattore, per ricapitare vicini chissà come e chissà quando.

Capacità delle dinamiche caotiche di generare informazione

Così, se si osserva la serie temporale che descrive l'evoluzione del sistema dinamico essa appare del tutto casuale (= *caos*). Di fatto però questa casualità è costituita da una combinazione casuale di pezzi (parti di pseudo–cicli) ciascuno di per sé determinato e nient'affatto casuale, anzi con proprietà e comportamento ben definiti (= caos *deterministico*).

Da un punto di vista informazionale, com'è stato giustamente notato,

> Poiché nei sistemi non–caotici i punti vicini rimangono vicini durante l'evoluzione temporale, una misurazione fornisce una certa quantità d'informazione che *rimane costante nel tempo.* Questo è proprio il senso in cui questi sistemi sono prevedibili: le misurazioni contengono certe informazioni che possono essere sfruttate per prevederne il corso futuro. (…) L'operazione di stiramento ripiegatura *elimina invece sistematicamente l'informazione iniziale e la sostituisce con informazione nuova*: lo stiramento amplifica le indeterminazioni su piccola scala, la piegatura avvicina traiettorie molto lontane fra loro e cancella l'informazione su grande scala. Quindi gli attrattori caotici si comportano come una sorta di pompa: poiché portano a manifestazione macroscopica le fluttuazioni microscopiche. (…) Dopo un breve periodo di tempo, l'indeterminazione corrispondente alla misura iniziale copre tutto l'attrattore e tutta la capacità di previsione è perduta: *non vi è più legame causale fra passato e futuro* (Chrutchfield *et al.* 1987, 29).

Quale sia la rilevanza di tutto questo per la scienza e la filosofia della natura moderna, risulterà chiaro da tutto il resto di quest'opera e soprattutto dalle sue parti che riguardano, nel Secondo Volume, le scienze biologiche e cognitive. Per il momento ci limitiamo ad indicare il collegamento concettuale che consentirà questi ulteriori sviluppi.

## 2.7 Conclusione: fine del mito riduzionista

### 2.7.1 Dinamica dei sistemi caotici

Passaggio ad una caratterizzazione dinamica dei sistemi caotici

Finora ci siamo limitati ad una caratterizzazione puramente *cinematica** dei sistemi instabili e in particolar modo dei sistemi caotici. Il collegamento di principio con quanto già detto a proposito dei sistemi termodinamici non–lineari, delle strutture dissipative, dei sistemi stabili fuori dall'equilibrio e quindi con lo studio dei sistemi chimici e biologici, risulterà immediatamente evidente allargando il nostro orizzonte dalla cinematica alla *dinamica** dei sistemi instabili e caotici, da una loro caratterizzazione in termini geometrici del loro comportamento, ad una nei termini delle forze che lo determinano.

Funzione di potenziale ad un solo minimo di un sistema stabile lineare

Per capire intuitivamente, in termini dinamici e non cinematici[67], la differenza nel comportamento fra un sistema stabile, lineare, e dunque scarsamente sensibile alle piccole modificazioni delle sue condizioni iniziali ed uno instabile, non–lineare, sensibile alle piccole modificazioni delle condizioni iniziali, conviene partire dal grafico della *funzione di potenziale* $U(x)$ di un sistema stabile. Mediante questo grafico abbiamo in pratica l'integrale della forza generalizzata di quel sistema, «la somma» di tutte le forze che agiscono sulle particelle che compongono il sistema. Rappresentando il comportamento del sistema come il moto di una pallina all'interno della funzione di potenziale, si comprende che, per qualsiasi condizione iniziale, dopo un transitorio più o meno lungo, il sistema verrà necessariamente a trovarsi nel suo stato più probabile, che corrisponderà al minimo della sua funzione di potenziale, o *stato di equilibrio* (Cfr. Figura 2-12). Tutti i sistemi dinamici lineari sono caratterizzati da una funzione di potenziale di questo tipo, che cinematicamente corrisponderà ad un attrattore di punto fisso o di ciclo limite nello spazio delle fasi (Cfr. Figura 2-7 e Figura 2-8).

---

[67] Per un'integrazione sistematica fra i due punti di vista cinematico e dinamico nella descrizione dei sistemi complessi e caotici in particolare, cfr. (Arecchi 2000).

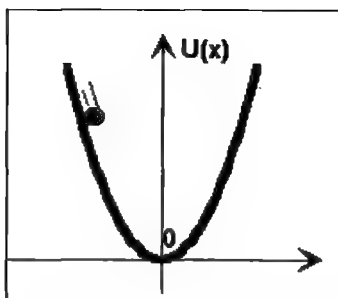



Figura 2-12. Funzione di potenziale di un sistema dinamico lineare caratterizzato da stabilità all'equilibrio. La pallina che rappresenta l'evoluzione dinamica del sistema si stabilizzerà in un'unica posizione finale, perfettamente predicibile.

Funzione di potenziale a molti minimi di un sistema instabile non-lineare

La condizione d'instabilità dinamica è invece legata ad un paesaggio dell'energia molto meno regolare di quello dato da una funzione di potenziale di un sistema lineare. Il paesaggio dell'energia legato ad un sistema dinamico non–lineare è caratterizzato da una funzione a molti minimi, dove piccoli mutamenti nelle condizioni iniziali potrebbero avere un'influenza «sproporzionata», non–lineare appunto, sull'evoluzione di lungo periodo del sistema. Nondimeno, la presenza di molteplici punti di equilibrio stabili, potrebbe fare assumere al sistema un comportamento comunque globalmente predicibile, anche se si tratterà di una stabilità più «articolata» di quella di un sistema lineare. Per esempio, esso potrebbe rimanere «intrappolato», per un certo tempo, in uno qualsiasi dei minimi locali che caratterizzano il paesaggio, come fossero altrettanti «punti fissi». Oppure potrebbe assumere un comportamento stabile più articolato «ciclando» fra diversi di questi minimi e dando luogo cinematicamente ad attrattori stabili quali ad esempio «cicli limite» o «tori» (Cfr. Figura 2-13). Malgrado la sua non–linearità, insomma, l'esistenza di diversi punti di equilibrio stabili del sistema, farebbe parlare in questo caso di *stabilità strutturale* (Cfr. nota 69, p. 164) del sistema medesimo.

Nel caso di un sistema instabile dissipativo di tipo caotico, invece, la situazione diviene ancora più complicata, in quanto lo stesso paesaggio dell'energia potrebbe essere soggetto a mutamento, con «increspamenti» e «stiramenti» continui — creazione e distruzione continua di minimi locali —, dando luogo al fenomeno caratteristico del comportamento «a salti» repentini e impredicibili del sistema fra pseudo–cicli, oppure al fenomeno, tipico di molti sistemi caotici, delle transizioni repentine, dell' «itineranza» fra «isole di stabilità» e passaggi all'instabilità.

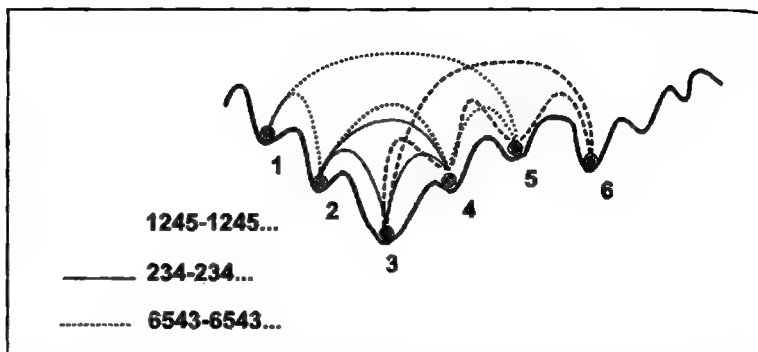



Figura 2-13. Paesaggio dell'energia di un sistema dinamico non-lineare, caratterizzato da instabilità locale, ma da una globale *stabilità strutturale* del sistema per la presenza di punti di equilibrio stabili rispetto ai quali il sistema può, per esempio, esibire un comportamento ciclico complesso.

Sistemi caotici base per lo studio fisico–dinamico delle strutture dissipative tipiche dei viventi

Dal nostro punto di vista più sistematico, è chiaro comunque che i sistemi dinamici non integrabili caratterizzati da instabilità dinamica sono molto più realistici, molto più aderenti alla complessità del reale di quelli integrabili e stabili studiati ai primordi della meccanica classica e statistica moderne cui si pretendeva di ridurre in qualche modo la realtà fisica. In particolare, lo studio dei sistemi dinamici instabili e di quelli caotici in particolare, può fornire la via appropriata per la comprensione delle basi dinamiche della stabilità fuori dall'equilibrio di quelle *strutture dissipative* che, come già abbiamo ricordato nella sezione riservata ai sistemi termodinamici non–lineari (Cfr. § 2.3.4, pp. 109ss.), sono essenziali per comprendere le basi fisiche dell'auto–organizzazione e dell'auto–regolazione tipiche di sistemi fisici complessi quali i sistemi chimici e soprattutto i sistemi biologici (Prigogine & Stengers 1979; Prigogine 1981; 1999; Kauffman 1992; 1995; 1999).

## 2.7.2 Causalità, contingenza e determinismo

Luce sulla relazione fra reversibilità (determinismo) e irreversibilità (contingenza) dei fenomeni chimici e biologici

Grazie alle nuove scoperte sui sistemi dinamici che si sono susseguite in questi ultimi quarant'anni a partire dall'articolo fondamentale di Lorenz, comincia a chiarirsi il mistero di come il *determinismo* delle leggi perfettamente reversibili della meccanica classica, sono coniugabili con la *contingenza* dei processi *irreversibili* chimici (il legno si trasforma in carbone, ma non viceversa) e biologici (un gatto nasce, si sviluppa e muore, ma non risorge). In tal modo si dà un contenuto intelligibile all'irriducibile *complessità* dei sistemi chimici ed organici, se vogliamo, alla loro differenza *qualitativa* rispetto ai sistemi dinamici più semplici, quelli caratterizzati dalla stabilità all'equilibrio.

Se fosse vero il determinismo specificità della vita e possibilità della libertà sarebbero pura illusione

Senza questa possibilità, non avrebbe alcun senso scientifico, né parlare del «miracolo» della vita, della sua capacità di *auto–organizzarsi*, di *generare informazione* opponendosi, almeno localmente e provvisoriamente, al destino del decadimento entropico di tutti i sistemi fisici, né ultimamente avrebbe senso parlare *di libertà di scelta* da parte dell'uomo, se fosse vero il mito del determinismo meccanicista e non vi fosse spazio alla contingenza nella realtà dei processi fisici e delle loro leggi. Se tutto è temporalmente pre–determinato e l'indeterminazione è solo espressione dell'insufficienza della rappresentazione umana dei processi fisici, l'azione libera dell'uomo sarebbe pura apparenza, pura ignoranza delle cause vere che «dall'inizio» determinano le azioni di qualsiasi sistema fisico esistente.

Sistemi caotici impongono un riesame del principio moderno humiano—kantiano di causalità

I sistemi complessi e quelli caotici in particolare danno invece un *fondamento oggettivo, reale,* alla *contingenza* nei processi fisici, una contingenza perfettamente compatibile col *determinismo* delle leggi della meccanica classica ed insieme col *principio di causalità,* anche se esso necessita di una fondazione differente da quella humiano–kantiana moderna, troppo dipendente dal determinismo ingenuo dell'approccio riduzionista della meccanica classica agli inizi della modernità.

Passi dell' emancipazione dalla mitologia riduzionista nella teoria dei sistemi dinamici

Per concludere questa parte e comprendere questo punto fondamentale della reinterpretazione del principio di causa in fisica che la teoria della complessità impone, è bene dunque riassumere i passi di questa emancipazione della teoria dei sistemi dinamici dalla mitologia del riduzionismo meccanicista, com'era stato espresso dalla metafora del demone di Laplace (Cfr., sopra p. 66):

1. Teorema KAM: sistemi integrabili sono l'eccezione in fisica

- Il teorema KAM (Kolmogorov–Arnold–Moser) ha dimostrato che, fra i sistemi dinamici, i sistemi *integrabili*, quelli per i quali è possibile fornire una soluzione analitica *esatta* delle equazioni del moto, praticamente in natura *non esistono.* I sistemi integrabili sono un caso idealizzato dei sistemi dinamici reali. Il fenomeno della non–integrabilità collegato all'instabilità dinamica osservato da Poincaré il secolo scorso, non è né un caso isolato, né patologico. Lo stesso sistema solare che aveva sollevato gli entusiasmi di Laplace e di Kant come esempio di sistema deterministico integrabile ed eternamente stabile, è destinato all'instabilità dinamica, anche se su tempi certamente molto più lunghi di quelli ai quali attualmente lo osserviamo (Vulpiani 1994).

2. Teorema KAM: non tutti i sistemi dinamici instabili seguono l'ipotesi ergodica anche se tale proprietà non conoscibile a priori

♦ Di nuovo il teorema KAM suggerisce che, fra i sistemi dinamici instabili, non tutti obbediscono *all'ipotesi ergodica*, come invece vi obbedisce il sistema ideale del biliardo ad ostacoli convessi studiato da Sinai. Come sappiamo, i sistemi caotici sono fra questi. Il teorema KAM però non è in grado di distinguere a priori fra le due classi di sistemi instabili, non è dunque in grado di predire se un sistema instabile sia caotico o no. Come uno degli autori del teorema KAM, Valdimir I. Arnol'd (Arnold 1990), dell'Università di Mosca, ha con forza ribadito contro le esemplificazioni affrettate della *teoria delle catastrofi*, di cui lui stesso è fra gli iniziatori, negli anni '70 del XX secolo[68]: se si fosse in grado di conoscere a priori il comportamento ergodico o meno di tutti i sistemi dinamici non–lineari e instabili, saremmo anche in possesso del cuore di una teoria matematica esplicativa del caos deterministico sul tipo della teoria della *stabilità strutturale*[69] nei sistemi dinamici. Teoria sviluppata e praticamente completata negli anni '60-'70 del XX secolo. Una teoria con la quale si sperava, allora, di completare lo studio della stabilità per i sistemi dinamici. Proprio la scoperta dei sistemi caotici in quegli anni, testimoniò invece dell'esistenza di strutture, di ordine, anche in sistemi instabili. Esistenza di strutture ordinate, riproducibili, perché generate da leggi deterministiche (equazioni differenziali) e stabilità (scarsa sensibilità alle modifiche delle condizioni iniziali) non si sovrappongono nei sistemi dinamici: quelle possono esistere senza questa (Viana 2000).

3. Capacità dei sistemi dissipativi caotici di generare informazione

♦ La presenza di strutture ordinate, di comportamenti pseudo–ciclici più o meno complessi in sistemi dinamici dissipativi (= attrattori) indica la capacità di questi sistemi di opporsi al decadimento entropico del sistema stesso, consumando energia dall'esterno del sistema. Se il sistema dissipativo è stabile, lo stato finale ordinato può essere univocamente pre-determinato da condizioni iniziali anche molto diverse tra loro. L'evoluzione dinamica del sistema *non ha generato informazione*, anzi piuttosto l'ha dissipata, vista la sua scarsa

---

[68] Anche se poi questa teoria è stata sviluppata e divulgata come fosse propria dal matematico francese R. Thom (Thom 1977; 1980)

[69] La stabilità nei sistemi dinamici può essere studiata da due punti di vista: 1) quello del comportamento delle traiettorie nello spazio delle fasi, per cui un sistema è stabile se le sue traiettorie per differenti condizioni iniziali divengono sempre più vicine fino ad essere attratte in un unico stato finale (punto fisso, ciclo limite, toro), che è il modo fondamentale con cui l'abbiamo considerata anche noi; e 2) quello più raffinato della *stabilità strutturale*. Tale nozione riguarda il comportamento globale del sistema, per cui un sistema dinamico viene definito strutturalmente stabile se una debole modificazione delle leggi di evoluzione dinamica dello stesso (p.es., per un cambio continuo delle coordinate) il comportamento globale del medesimo resta immodificato (Viana 2000).

sensibilità alle differenze nelle condizioni iniziali. Viceversa, i sistemi dissipativi caotici *generano informazione* perché la struttura di un attrattore caotico *ha dissipato*, «dimenticato» completamente, dopo pochi passi, *l'informazione dalle condizioni iniziali*, avendo amplificato le differenze anche piccole, attraverso il meccanismo della «divergenza» delle traiettorie. Ma, a differenza dei sistemi ergodici, esso *ha generato nuova informazione*, attraverso il meccanismo del «ripiegamento» delle traiettorie divergenti. Praticamente, punti dello spazio delle fasi del sistema tornano vicini — mai sovrapponendosi, per questo abbiamo pseudo-cicli e non cicli — seguendo percorsi diversi da quelli, dipendenti dalle condizioni iniziali, mediante i quali gli stessi punti si allontanano. Mediante tale meccanismo dinamico, nuove strutture vengono all'esistenza — lo spazio delle fasi ha cioè un attrattore, un attrattore caotico o «strano», appunto — totalmente *impredicibili* dalle condizioni iniziali, ma sempre esattamente *riproducibili*, dato il carattere deterministico delle leggi (equazioni differenziali) che governano il sistema. Non stiamo infatti di fronte né ad un *sistema stocastico**, né ad un sistema quantistico. Per questo motivo, non siamo qui di fronte a fenomeni di stabilità strutturale, come erroneamente supponeva Thom (cfr. nota 69), così che I. Prigogine ha dato il nome di *strutture dissipative* alle strutture ordinate che tali sistemi riescono a produrre al loro interno. Un «ordine», ripeto, che non deriva dalle condizioni iniziali, ma da una causalità di tipo «globale», indipendente dal tempo che, come vedremo, dal punto di vista ontologico, richiama da molto vicino quella che Aristotele chiamava «causa formale», come approfondiremo nel Sesto Capitolo.

4. Necessità di un riesame del principio moderno di causalità

- In tale contesto, il caos deterministico pone dei problemi nuovi alla filosofia della natura e della scienza riguardo all'epistemologia e all'ontologia del *principio di causalità*. Vediamo più in dettaglio questo punto della massima rilevanza teorica per noi, anche se vi torneremo più in dettaglio nei prossimi due Capitoli di questo lavoro.

Inizi con la riduzione leibniziana del principio di causalità al principio di ragion sufficiente

Nella riflessione filosofica moderna conseguente alle scoperte della scienza galileiana–newtoniana la nozione *logico–matematica* di *legge* sostituisce la nozione *ontologica* di *causa* della filosofia della natura classica. Il primo a rendersi conto di questo fu il filosofo e matematico Gottfried Wilhelm (von) Leibniz (1646-1716), inventore con Newton del calcolo differenziale, che parlò esplicitamente di riduzione del *principio di causa* dell'antica filosofia della natura al *principio di ragion sufficiente*, ovvero alla *legge logica della doppia implicazione* («*B* se e solo se *A*»). La sua metafisica rappresentazionale — la materia è rappresentazione dello spirito, essendo tutta la realtà costituita di «atomi» immateriali o «monadi», alcune dotate di coscienza, altre no — includeva infatti un'interpretazione realisti-

ca delle leggi logiche: esse non erano altro che *rappresentazioni simboliche*, di *strutture reali*.

Scarso successo dell'interpretazione metafisica leibniziana della fisica moderna e prevalenza dell'interpretazione fenomenista newtoniana

Ma il «romanzo metáfisico» della *Monadologia* leibniziana, come lo definì Hegel, non ebbe molto successo nella filosofia moderna. Nell'interpretazione dominante della rivoluzione scientifica moderna e del determinismo riduzionista che l'accompagnava, prevalse il *fenomenismo* newtoniano. La scienza moderna di interessa di fenomeni misurabili, spiegando la loro variabilità nel tempo mediante leggi funzionali (Cfr. sopra p. 100). Cosa siano gli enti fisici *in sé* e quali le loro *relazioni reali causali* non è compito che interessa lo scienziato della natura newtoniano, ma al massimo il filosofo della natura, che generalmente sposava — come nel caso del medesimo Newton quando indossava i panni del filosofo — un'ipotesi di *atomismo* metafisico materialista di marca neo–democritea (Cfr. 5.2, pp. 311ss.).

Lo schema d'interpretazione della causalità nella modernità è quello fenomenista kantiano–newtoniano

Lo *schema logico–epistemologico,* dominante nel mondo scientifico dell'interpretazione del principio di causa per tutta la modernità fino ad oggi, è stato perciò quello rappresentazionale ed anti–metafisico humiano–kantiano. Da una parte, esso rifiutava il realismo logico ingenuo di Leibniz. La realtà fisica, oggetto di osservazione empirica è distinta dalla realtà logica oggetto di riflessione razionale. D'altra parte, tale schema poneva in evidenza quello che Kant definisce lo *schematismo temporale* della causalità, per porre in relazione i fenomeni empirici (l'antecedente e il conseguente di una successione temporale) con la sua formalizzazione logica sotto forma di legge.

La causalità è legata al modo di rappresentare i fenomeni: antecedente logico di un'implicazione corrisponde all'antecedente temporale di un'osservazione

Se, nell'approccio ingenuamente deterministico della fisica moderna delle origini, tutta l'informazione per determinare univocamente lo stato finale è nello stato iniziale del sistema, come in un sistema deduttivo è tutta negli assiomi, la fondazione del principio di causa come ingrediente ineliminabile della nostra esperienza, è legata per Kant al *modo di rappresentazione dei fenomeni* e non ha nulla a che fare con *l'essere* degli enti fisici rappresentati. Secondo tale modo di interpretare la causalità, *l'antecedente logico* o *premessa* di un'implicazione logica, corrisponderebbe all'*antecedente temporale* di un processo fisico empiricamente osservato e misurato, ed in concreto — nel concreto della pratica scientifica — corrisponderebbe alle *condizioni iniziali* del moto di un sistema di partcelle o di «atomi di materia».

Schema causale moderno:

Il fondamento logico–epistemologico della verità dell'asserto: «l'ente o evento *A causa* l'ente o evento *B*» è dunque legato alla possibilità di affermare:

1. Successione temporale fra le rappresentazioni

- La *precedenza temporale* della rappresentazione di *A*, diciamo *A'*, sulla rappresentazione di *B*, diciamo *B'*; dove *A'* e *B'* rappresentano, nel caso paradigmatico della meccanica, lo stato iniziale e lo stato finale del moto di un sistema dinamico, in quanto espresso nelle relative grandezze misurabili (posizione e quantità di moto).

2. Legame necessitante come legge matematica a priori, reversibile

- Il *legame necessitante* fra *A'* e *B'* nella forma di una legge matematica a priori, reversibile, dell'evoluzione dinamica del sistema (p.es., una delle leggi della meccanica) che assumerà logicamente la forma della doppia implicazione fra *A'* e *B'*, $A' \equiv B'$, «*B'* se e solo se *A'*», ovvero, per evidenziale la reversibilità della relazione: «*A'* implica *B'* e *B'* implica *A'*» (Cfr. *infra* § 4.2.2 pp. 241ss.).

Il carattere anti–metafisico di questa fondazione del principio di causa legato alle origini della rivoluzione scientifica moderna dipende dal fatto che:

3. apresentazione temporale legata alla coscienza

- Il *fondamento di tutte le relazioni temporali* è legato intrinsecamente alla mente umana auto–cosciente e alla sua capacità rappresentazionale di fenomeni nel *tempo*. Come, a partire da Platone, è nozione comune a tutta la riflessione filosofica occidentale, non esiste tempo senza memoria e senza coscienza.

4. Assolutezza delle leggi legata alla coscienza

- Il *fondamento dell'assolutezza delle leggi* è di nuovo intrinsecamente legato alla mente umana auto–cosciente e la presunta apoditticità o non–ipoteticità delle leggi alla loro presunta *auto–evidenza* di tipo non–empirico[70].

---

[70] Il «salto» fra *antecedente–conseguente* in senso logico e in senso temporale è colmato nell'approccio kantiano attraverso la nozione di *schema* e di *schematismo* temporale dell'autocoscienza rappresentativa. Mediante tale nozione, Kant intendeva risolvere il problema della suddetta compatibilità fra una nozione logica e una empirica. Più precisamente, come fosse possibile giustificare la sussunzione di *immagini empriche* (fenomeni) di oggetti entro gli schemi logico–formali delle categorie e dei concetti dell'intelletto. Molto profondamente Kant suggeriva che ciò era reso possibile dal fatto che di ogni fenomeno o classe di fenomeni esisteva nella mente il relativo *schematismo temporale* (Kant 1787, 155-166). Un insieme di regole logico–formali, cioè, per produrre, nella cosiddetta *immaginazione produttiva*, una molteplicità di immagini di quell'oggetto. Ciò che insomma veniva conservato di un oggetto empirico nella memoria non erano le immagini di un oggetto — altrimenti ci sarebbe voluta una quantità infinita di memoria anche per un solo oggetto, visto che non esistono due sole immagini empiriche identiche di un qualsiasi oggetto empirico. Veniva conservata la regola temporale, l'algoritmo sequenziale, per produrne un'infinità di queste immagini. In questo la teoria kantiana si avvicina molto a quella aristotelico–tomista della percezione che parlava della conservazione nella memoria non d'immagini, ma di *abiti*, ovvero di disposizioni formali ad agire acquisite, mediante cui riprodurre nella memoria e nell'immaginazione immagini di oggetti. La differenza è che mentre per l'aristotelismo gli abiti erano indotti, per Kant tali schemi erano esclusivamente a priori — condannandosi così, fra l'altro, a non risolvere il problema per cui li aveva ideati. Il problema cioè della sussunzione dell'a posteriori fenomenico nell'a priori

Di qui l'affermazione di Kant che il fondamento trascendentale dei predicati è l'autocoscienza e non l'essere dell'oggetto

Di qui l'affermazione dovuta a Kant che il *fondamento trascendentale, pre-logico, ante-predicativo* — che fonda cioè i predicati, compresi quelli numerali delle leggi fisico-matematiche della natura — della verità degli asserti del linguaggio scientifico e non, non debba trovarsi nell'*adeguarsi* di questi asserti all'*essere degli enti*, ma nell'adeguarsi delle sensazioni coscienti, che *ipoteticamente* si riferiscono ad enti esistenti «fuori» della mente, al *modo della mente auto-cosciente* di rappresentarsi i suoi oggetti, ovvero agli *a priori* logici del pensiero (Cfr., *infra* § 5.1, pp.307ss.). In una parola, il fondamento *trascendentale* della verità degli asserti non è più per la filosofia moderna *l'essere degli enti* ma *l'autocoscienza,* l' «Io penso» (il *cogito* di Descartes) della mente rappresentazionale, appunto, autocosciente. Se tutti, cioè, conveniamo sulla verità dell'asserto «il sangue è rosso», non è perché la proprietà (*accidente*) che denotiamo col termine «rosso» appartiene *essenzialmente,* necessariamente o «per sé» alla *sostanza* fisico-chimica che denotiamo col termine «sangue». Siffatta convenienza si basa invece su una comune evidenza. Dipende dal fatto che è comune a tutti gli uomini il modo di esser coscienti di sensazioni e il modo di esserne autocoscienti in forma di fenomeni. Il modo, cioè, di *rappresentarsi* le sensazioni in forma ordinata, secondo determinate relazioni logiche, nella mente autocosciente.

Crisi di questo schema causale per le rivoluzioni scientifiche del XX secolo

Lo schema *logico-epistemologico* moderno, humiano-kantiano, ha ricevuto nella modernità sostanziali mutamenti ad opera delle rivoluzioni scientifiche del XX secolo. Già abbiamo visto nella sezione § 1.5, pp. 68ss. come lo sviluppo della logica e della matematica e della stessa scienza fisico-matematica nel secolo XIX abbiano cominciato a minare il mito dell'assolutezza apodittica delle leggi della scienza moderna, fondate sul *principio di evidenza* e quindi sull'autocoscienza. Vedremo in seguito le ultime «puntate» di questa vicenda dal punto di vista della teoria dei fondamenti della logica e della matematica del XX secolo. Dal punto di vista logico-matematico, fin dal XIX secolo, viene dunque meno l'idea che la necessità della relazione causale possa essere *assoluta,* se tale necessità ha un fondamento esclusivamente logico-epistemologico.

Ma sono le rivoluzioni concettuali della nuova scienza fisica del XX secolo ad implicare i ridimensionamenti più significativi.

---

concettuale. Se era esclusivamente a priori anche «il ponte» fra i due come questo ponte poteva agire? Se, nella teoria kantiana, certi fenomeni vengono sussunti sotto una certa categoria (p.es. quella di causa) e non un'altra (p.es., quella di sostanza) perché ad un certo gruppo di fenomeni si applica lo schema temporale della *successione* e non della *permanenza* nel tempo come giustificare tale applicazione se lo schema è puramente a priori? Torneremo nella Quarta Parte sul confronto tra teoria kantiana e aristotelico-tomista della percezione.

Innanzitutto il principio d'indeterminazione in quantistica

Il primo viene dalla meccanica quantistica e dal suo *principio d'indeterminazione* (Cfr. § 2.4.3, pp. 115ss.). In meccanica quantistica, un medesimo stato finale è compatibile non con una, ma con una *nube* di condizioni iniziali. Una molteplicità di saggi e di interi libri sono stati scritti sul rapporto fra il *principio d'indeterminazione* e il *principio di causa*, a cominciare dai saggi dello stesso W. Heisenberg, come il famoso *Fisica atomica e principio di causalità* del 1955 (Heisenberg 1955, 57-99), per arrivare ai testi dei maggiori filosofi della scienza e della natura contemporanei. Per citarne solo due, siano sufficienti il corposo testo del P. Filippo Selvaggi, *Causalità e indeterminismo* (Selvaggi 1964) che esamina approfonditamente la questione dal punto di vista della filosofia della natura scolastica, ed il molto più divulgativo e divulgato saggio di K. R. Popper *Nuvole e orologi. Saggio sul problema della razionalità e libertà dell'uomo* del 1972 che affronta il problema nel quadro dell'eterno dilemma fra determinismo naturalistico e la fondazione reale della libertà umana (Popper 1975, 277-340).

Impossibilità di una determinazione infinitamente precisa delle condizioni iniziali

I problemi che la meccanica quantistica pone al determinismo della meccanica classica sono legati all'impossibilità di una determinazione infinitamente precisa dello stato fisico del sistema che pone dei limiti di predicibilità all'evoluzione del sistema in termini traiettorie classiche. In questo senso si può e si deve dire che lo stato finale di un sistema quantistico è compatibile non con unico insieme, ma con una *nube* di condizioni iniziali e quindi — e qui è il senso fisicamente profondo della rappresentabilità di un sistema quantistico mediante una funzione d'onda probabilistica — con un'*infinità possibile di traiettorie*, come il formalismo degli *integrali di percorso* di Feynman insegna.

Nondimeno, malgrado il carattere fisicamente paradossale degli integrali di percorso, stato finale perfettamente predicibile.

Lo stato del sistema quantistico è, infatti, formalmente corrispondente alla somma su tutte le «storie», su tutti gli infiniti percorsi compatibili con la *nube* di condizioni iniziali. Sarebbe come se una particella quantistica, per passare dallo stato *A* a quello *B*, passasse simultaneamente per tutti gli infiniti percorsi possibili («traiettorie») fra quei due punti. Feynman per primo denunciava la paradossalità se non la contraddittorietà fisica di una tale costruzione logico–matematica (Feynman 1989). Per primo lui riconosceva che fosse inammissibile supporre che occorresse una «quantità infinita di logica» per rappresentare in forma deterministica il mutamento dello stato fisico di una particella microscopica, in una porzione incredibilmente piccola dello spazio–tempo (Feynaman 1984, 64). Nondimeno resta la meraviglia che mediante tale artifizio matematico, che dà alle funzioni d'onda di De Broglie un senso così fisicamente paradossale, un sistema quantistico diviene perfettamente deterministico, predicibile, facendo collimare le previsioni teoriche con le misure speri-

mentali con una precisione — intesa in senso probabilistico, ovviamente — che non ha uguali in tutto il resto della fisica moderna!

Sistemi quantistici, nel formalismo delle funzioni d'onda: stabili, deterministici, reversibili

Da un punto di vista dinamico, tutto ciò è legato al fatto che la *stabilità* dei sistemi quantistici fa sì che il sistema stesso non amplifichi l'indeterminazione con cui si definiscono le sue condizioni iniziali. Per questo, nell'ambito del formalismo statistico delle funzioni d'onda, i sistemi quantistici risultano essere *deterministici*, formalmente *reversibili*, anche se di un determinismo diverso da quello dei sistemi dinamici studiati dalla meccanica classica. Insomma, se si usa l'appropriato formalismo nella rappresentazione dell'evoluzione dinamica dei sistemi quantistici — quello delle funzioni d'onda e non quello delle traiettorie di punti materiali —, *nessuno* dei due ingredienti fondamentali del principio moderno di causalità, *schematismo temporale* e *determinismo legato alla reversibilità* dei processi, viene meno.

Indeterminazione legata al cambio di rappresentazione in seguito ad un atto di misurazione (collasso della funzione d'onda)

Nei sistemi quantistici siamo di fronte a processi irreversibili e ad indeterminazione solo facendo «collassare» la funzione d'onda su una *traiettoria classica*, mediante un atto di misurazione che voglia definire univocamente lo stato fisico della particella. È a quel punto che entra in gioco l'impossibilità di determinare indipendentemente posizione e quantità di moto della particella, come il principio d'indeterminazione di Heisenberg insegna. L'indeterminazione è dunque legata ad un cambio di rappresentazione, è *intrinseca al sistema osservatore–osservato*, ma *non è intrinseca al sistema dinamico in quanto tale*, che, lo ripetiamo, in termini di funzione d'onda resta perfettamente deterministico. In questo senso, si può dire che nei sistemi quantistici l'osservazione entra come componente intrinseca di essi, cambiando la natura (determinismo/indeterminismo) al fenomeno osservato (Ghirardi 1997).

Possibilità di un'interpretazione del tutto realista del passaggio determinismo/indeterminismo mediante il fenomeno della decoerentizzazio-ne

Il metafisico idealista in questo senso può sentirsi soddisfatto, anche se non nel senso soggettivista con cui questa «interferenza» della rappresentazione col sistema rappresentato viene divulgata da veri e propri «spacciatori di droga» culturale del «pensiero debole». Allo stesso tempo, però, il metafisico idealista dovrebbe non dormire sonni tranquilli, se le ultime scoperte sul fenomeno della cosiddetta *decoerentizzazione della funzione d'onda* confermassero quanto sta emergendo con grande chiarezza. Tale fenomeno appare del tutto equivalente al collasso della funzione d'onda, ma, al contrario di questo, risulterebbe del tutto indipendente dal cambio di rappresentazione e/o dall'interazione col sistema di misura, dipendendo esclusivamente dall'interazione del fenomeno quantista col resto del contesto fisico. Ciò d'altra parte confermerebbe, per altra via, quanto già osservato con gli esperimenti sul paradosso EPR. Infatti, la non–località quantista che manifesta l'intrinseca natura ondulatoria del fenomeno quantistico, emerge *se e solo se* l'esperimento avviene in conte-

sto di «vuoto» praticamente assoluto. Se si elimina cioè qualsiasi tipo d'interazione delle particelle che compongono il sistema quantistico di cui si sta osservando la non–località, con altri corpuscoli o forme di energie esterne al sistema stesso. Il fatto che uno dei grandi padri della fisica contemporanea il Premio Nobel John Archibal Wheeler, non per nulla soprannominato «il signor relatività», sposi questa tesi fa sperare positivamente che questa interpretazione del tutto *realista* del «mistero-chiave» della fisica quantistica avrà a breve la prevalenza, chiudendo definitivamente un secolo d'incertezze teoriche al riguardo (Tegmark & Wheeler 2001).

L'irreversibilità nei sistemi instabili e caotici è del tutto indipendente dalla rappresentazione

Ben diverso è il caso dei sistemi instabili e di quelli caotici in particolare. In essi abbiamo innanzitutto il dato apparentemente paradossale di *un'irreversibilità* che si accompagna, a differenza dei sistemi studiati dalla meccanica quantistica, alla validità delle *leggi deterministiche* della meccanica classica ed alla rappresentabilità della sua evoluzione dinamica in termini di traiettorie.

Coniugata con il determinismo e la reversibilità ultimi delle equazioni della meccanica

L'irreversibilità dell'evoluzione dinamica viene conciliata con le leggi deterministiche della meccanica e la loro riversibilità mediante l'elegante ipotesi dei *tempi di ricorrenza di Poincarè*. I tempi fisici che si richiedono perché il sistema, passando attraverso tutti i suoi possibili stati compatibili con i principi di conservazione dell'energia secondo l'ipotesi ergodica, torni a quello di partenza e risulti quindi *reversibile,* sono talmente lunghi praticamente *infiniti,* che, *di fatto,* fisicamente, è come se il sistema non vi ripassasse più.

Mediante l'ipotesi teorica dei tempi di ricorrenza infinitamente lunghi di Poincaré

Tutto ciò può esser reso intuitivo mediante un'efficace esemplificazione di D. Ruelle (Ruelle 1984). Immaginiamo di rinchiudere un gatto, con il suo cibo e quanto gli è necessario per vivere, in una scatola isolata dal mondo esterno. Certamente, dopo un certo periodo di anni il gatto morirà, e nella scatola non rimarrà altro che della poltiglia maleodorante. L'irreversibilità di tale processo è alla base della nozione comune che i gatti — come ogni altro sistema biologico — non risorgono. Immaginando che trascorrano milioni di anni, seguendo l'ipotesi ergodica, quella poltiglia passerà nei millenni per i molteplici stati fisici compatibili con la conservazione dell'energia. Ma che da essa si ricomponga un gatto vivo è ipotesi altamente improbabile — sebbene, sempre per l'ipotesi ergodica, comunque non nulla. Né noi, né l'intera nostra galassia vivrebbe tanto a lungo per osservare un tale «miracolo». Tali sistemi sono dunque di fatto *irreversibili,* sebbene all'interno di una globale *reversibilità* delle leggi che caratterizzano il loro comportamento.

L'irreversibilità nei sistemi caotici legata non al venir meno del principio logico del determinismo reversibile, ma al venir meno dello schematismo temporale

L'irreversibilità e l'aleatorietà dei sistemi caotici in quanto sistemi instabili sarebbe dunque legata, di per sé, non al venir meno dell'ingrediente del determinismo reversibile, ma alla mancanza dell'altro ingrediente dello schema moderno del principio di causalità: lo *schematismo temporale*. È infatti l'*instabilità* dei sistemi caotici che implica *l'assoluta impredicibilità* dello stato finale e della sua struttura (attrattore strano), struttura che, col suo emergere, «rompe» l'ergodicità del sistema. In questi sistemi, l'antecedente temporale non è *mai* condizione *sufficiente* per determinare il conseguente temporale, almeno quando la previsione riguarda un intervallo temporale *abbastanza lungo*, ma non *infinitamente lungo*.

Antecedente, sui tempi lunghi ma finiti, non è condizione sufficiente per la previsione del susseguente

Questa notazione della lunghezza comunque finita dell'intervallo temporale è particolarmente importante. Infatti, per intervalli temporali *arbitrariamente piccoli*, al limite infinitesimali — qui siamo in meccanica classica e non vige alcun principio di quantizzazione e d'indeterminazione dello stato fisico e quindi l'intervallo può comodamente tendere a zero — la dipendenza univoca del conseguente dall'antecedente può essere sempre garantita. È sulla previsione di lungo periodo che l'instabilità dinamica dei sistemi caotici comincia a giocare il suo ruolo sorprendente, che li differenzia profondamente dai sistemi quantistici.

Anche nel caos lo stato finale compatibile con una nube di condizioni iniziali come in quantistica

Anche in un sistema caotico come in un sistema quantistico stabile lo stato finale è di fatto compatibile con una *nube* di condizioni iniziali. Data l'irreversibilià del processo, infatti, da esso non è possibile ricostruire un'unica traiettoria che conduca ad un unico insieme di condizioni iniziali determinabili con precisione assoluta. Non di meno — e qui è la differenza sostanziale con un sistema quantistico — si può essere teoreticamente certi che, a differenza di un sistema quantistico, quest'*unica* traiettoria *esista*.

Ma nel caos si è certi che formalmente *esiste* una traiettoria soltanto, anche se è impossibile *sapere* quale

Di qui il fatto della profonda differenza teorica fra l'indeterminazione di un sistema quantistico stabile e quella di uno caotico instabile. Lo stato finale di ambedue è compatibile con una nube di condizioni iniziali. Mentre, però, per un sistema caotico si può esser certi che *formalmente esista una e una sola traiettoria* che ha condotto il sistema dallo stato inziale $A$ a quello finale $B$, anche se non è *mai* possibile in linea di principio sapere quale, per un sistema quantistico, almeno dall'interno del formalismo dell'elettrodinamica quantistica (QED) di Feynman, possiamo esser certi che esista *un'infinità* di traiettorie possibili e che della *totalità* di esse il sistema abbia in qualche modo tenuto conto per passare da $A$ a $B$.

Profonda somiglianza fra questo tipo d'indeterminazione in fisica e quella legata all'*indecidibilità** nei sistemi formali

Di qui il suggerimento, in parte già formalmente provato, per certi sistemi caotici almeno (Agnes & Rasetti 1991; Perrone 1995; 2000), del profondo rapporto che lega *l'incompletezza* dei sistemi formali in logica e matematica — di cui ci occuperemo nella prossima sottosezione (Cfr. § 3.1.3, pp. 193-ss.) — e *l'indeterminazione* dei sistemi caotici in fisica e in dinamica. Anche nei sistemi formali, causa la loro essenziale *incompletezza*, si può esser certi dell'esistenza di un certo teorema — formalmente dell'esistenza di una procedura logica o calcolo che da un insieme di premesse *A* porta univocamente ad una conclusione *B* —, sebbene non possa essere dimostrata entro il sistema la compatibilità (verità/falsità in senso fomale) di *B* con *A*. Da questo punto di vista logico–formale rigorosamente *finitista* — escludendo cioè ipotesi matematicamente eleganti, come le ricorrenze di Poincaré, ma inconciliabili colla finitezza di tutti i sistemi fisici — ciò che viene meno dello schema causale moderno nella rappresentazione matematica dell'evoluzione temporale dei sistemi caotici è *la necessità logica della relazione antecedente–conseguente.*

Una volta cioè riportato il sistema fisico in un contesto realisticamente finitistico

Ovvero, ciò che viene meno nei sistemi caotici non è solo lo schematismo temporale antecedente–conseguente, ma anche l'altra componente dello schema moderno del principio di causalità, quella della *necessità formale,* fondata sulla relazione logico–formale antecedente–conseguente. Una necessità che, viceversa, l'indeterminazione quantistica non pone in crisi, anche se a patto di dover supporre «una quantità infinita di logica», secondo la felice espressione di Feynman, per giustificare nel formalismo delle funzioni d'onda della fisica quantistica il determinismo: la relazione antecedente–conseguente e la sua reversibilità–necessità[71].

Questa contrapposizione fra sistemi quantistici e caotici potrebbe però finire.

Per concludere questa sottosezione, una notazione è comunque necessaria. In questi ultimi paragrafi ci siamo dilungati sulla contrapposizione fra sistemi quantistici e caotici, particolarmente utile a fini pedagogici, per sviluppare una riflessione sullo stato attuale della discussione in filosofia della natura e della scienza su determinismo e causalità. Questa contrapposizione potrebbe però, in futuro, risultare superata, nella misura che venga confermata l'esistenza del *caos quantistico,* intimamente legata alla sopra citata esistenza del fenomeno della *decoerentizzazione della funzione d'onda.*

---

[71] Anche da questo punto di vista si confermerebbe il parallelismo che abbiamo istituito fra indeterminismo nei sistemi instabili e incompletezza nei sistemi logico–formali. È infatti noto che un modo per aggirare senza risolverli i problemi di incompletezza nei sistemi formali è quello di ricorrere a metodi infinitistici di dimostrazione. Cfr. *infra* nota 75, p. 194)

Se fosse confermata l'esistenza del caos quantistico ed il ruolo della decoerentizzazione, i sistemi quantistici diverrebbero un sottoinsieme dei sistemi caotici

In tal caso, i sistemi quantistici, diverrebbero un sottoinsieme di quelli caotici. Dallo studio cioè di sistemi instabili anche nei sistemi fisici microscopici di tipo quantistico, per i quali il formalismo deterministico delle funzioni d'onda risulta di fatto inapplicabile. Negli ultimi dieci anni, diversi esempi fisici di caos quantistico sono stati effettivamente individuati. Fra i teorici dell'instabilità, chi più di altri ha insistito sul cambio di paradigma che lo studio delle instabilità implica per tutta la fisica fondamentale, sistemi quantistici inclusi è Ilya Prigogine (Prigogine 1981; 1999). La sua proposta teorica, comunque, per fare dei sistemi quantistici un sotto-insieme di quelli instabili, dà adito a molte perplessità dal punto di vista fisico–matematico. Ma non è il caso qui di approfondire la questione.

In ogni caso, i sistemi complessi, sia che includano che non includano i sistemi quantistici, richiedono un cambio di paradigma sul principio di causalità humiano–kantiano

Per i nostri scopi filosofici, comunque, potremmo concludere dicendo che una differente concezione del *tempo fisico* e quindi un diverso *schema di necessitazione causale*, più ricco e complesso di quello tipico del principio di causalità moderno humiano–kantiano si richiedono per interpretare adeguatamente la ricchezza di comportamento dei sistemi caotici e dei sistemi complessi in genere. Infatti, dei due ingredienti della fondazione moderna del principio di causalità (lo schematismo temporale antecedente–conseguente e la fondazione logico–formale della relazione necessitante fra i due) individuati da Kant (Cfr. sopra p. 167), lo studio dei sistemi complessi pongono in crisi ambedue, a conferma che la filosofia kantiana della scienza è adeguata solo al modello deterministico newtoniano di sistema fisico, integrabile e stabile, non certo agli attuali sviluppi dello studio dei sistemi fisici complessi.

Molti suggeriscono che sia il modello aristotelico quello più adeguato

Prigogine per primo (Prigogine & Stengers 1979; Prigogine 1981; 1999), seguito da R. Thom (Thom 1990) e da molti altri (Arecchi & Arecchi 1990; Cannata 1994; Basti 1995; Basti & Perrone 1996; Musso 1997; Oderberg 1999), hanno suggerito che ambedue questi concetti di tempo fisico e di necessitazione causale vadano ricercati nella filosofia della natura e della scienza di ispirazione aristotelica piuttosto che in quella moderna. Da molteplici punti di vista, si suggerisce il modello di causalità aristotelico come più adeguato a rendere conto della relazione causale nei sistemi caotici.. Esso, infatti, non è basato sulla relazione logica di *implicazione*, ma su quella ontologica *atto–potenza*, ovvero sulla non esclusiva dipendenza dello stato finale dalle cause iniziali (= efficiente e materiale), ma da fattori globali che controllano l'intera dinamica e che, epistemologicamente, possono essere conosciuti (parzialmente) solo dopo l'accadimento dello stato finale (= causa formale–finale). Vedremo nel seguito di questo lavoro ed in particolare in § 6.3.2, pp.431ss.), quanto ed entro quali limiti questo suggerimento sia fondato.

## 2.8 Sommario del Secondo Capitolo

Nel § 2.1 ci siamo soffermati su una visione sintetica delle scoperte più rivoluzionarie della «nuova fisica» del XX secolo. Tali scoperte hanno ridimensionato la pretesa di onnicomprensività e apodittìcità della fisica newtoniana, limitandola allo studio dei sistemi meccanici *macroscopici*, quelli legati ai corpi della nostra esperienza ordinaria. In campo *mesoscopico* (aggregati molecolari) valgono i principi della termodinamica statistica, lineare e non–lineare. In campo *microscopico* (livello atomico e sub–atomico) valgono i principi della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta (elettrodinamica e cromodinamica quantistiche). A livello *megaloscopico* (fenomeni su scala cosmica) valgono i principi della teoria della relatività generale. Ma la rivoluzione e il ridimensionamento più forte di una certa *filosofia riduzionista*, sia in senso *diacronico* (riduzione dello stato finale alle condizioni iniziali), sia in senso *sincronico* (riduzione del complesso al semplice), legata ai principi della meccanica newtoniana si è avuta negli ultimi trent'anni del XX secolo con la nascita della *fisica della complessità*.

Il primo ridimensionamento della pretesa onnicomprensività dei principi della meccanica classica newtoniana si ebbe con la nascita della *termodinamica statistica* ad opera di L. Boltzmann (§ 2.3). Il secondo principio della termodinamica (§ 2.3.1), reintroduce la «freccia del tempo» nello studio statistico dei sistemi fisici *mesoscopici* (aggregati molecolari) (§ 2.3.2), legandolo, nei sistemi *isolati* e a *bassa densità* (gas) all'aumento irreversibile *dell'entropia*, ridimensionando così l'ambito di applicabilità del principio di reversibilità temporale che è tipico delle equazioni della meccanica newtoniana (§ 2.3.3). Una rivoluzione ancora più profonda l'introduce lo studio dei sistemi termodinamici non–isolati o *dissipativi*, caratterizzati da una forte *non–linearità*, capaci come nel caso di determinati sistemi *chimici* e soprattutto *biologici* di legare l'irreversibilità non solo ad un aumento del disordine (perdita di «memoria» delle condizioni iniziali), ma all'auto–organizzazione di strutture ordinate (*strutture dissipative*) assolutamente impredicibili dalle condizioni iniziali (= sistemi caotici) (§ 2.3.4). Ma questo è l'oggetto principale di studio della fisica della complessità.

Il secondo ridimensionamento del dominio delle equazioni della meccanica newtoniana si ha con la nascita della *meccanica quantistica* (§ 2.4) nello studio dei sistemi fisici *microscopici*. In tale studio s'introducono una serie di principi incompatibili con quelli della meccanica classica (newtoniana): *il principio di quantizzazione* (§ 2.4.1) e il conseguente modello di atomo *a stati discreti* proposto da N. Bohr, mediante cui si da una spiegazione fisica alla tavola periodica degli elementi chimici di Mendelejev (§ 2.4.2). In seguito, una serie di altri principi sono stati introdotti nella meccanica quantistica come il *principio d'indeterminazione* di Heisenberg (§ 2.4.3), quel-

lo *di esclusione* di Pauli (§ 2.4.4), quello *di complementarità* di Bohr, particella–onda (§ 2.4.7), conseguente alla scoperta della natura intrinsecamente *ondulatoria* dei fenomeni quantistici, dapprima ad opera di De Broglie (§ 2.4.5), quindi mediante l'equazione ondulatoria di Schrödinger, che permette di prevedere con eccezionale esattezza gli stati energetici discreti dell'atomo d'idrogeno (§ 2.4.6). Tappa fondamentale di questo cammino è stata l'equazione di Dirac, che ha permesso d'inserire il principio di relatività speciale (o ristretta) — e la conseguente convertibilità massa–energia — nelle equazioni quantistiche di campo, trasformando la meccanica quantistica in elettrodinamica quantistica (§ 2.4.7). Di qui la necessità di leggere la dualità particella–onda del principio di complementarità di Bohr, come un aspetto fondamentale della natura a livello microscopico, con tutti gli interrogativi legati alla cosiddetta «riduzione della funzione d'onda» (passaggio dalla descrizione ondulatoria a quella particellare) e alla sua dipendenza o meno dalla rappresentazione e/o dall'atto della misurazione.

Un'ulteriore rivoluzione rispetto alle concezioni della meccanica classica si è avuta con la teoria della relatività (Cfr. § 2.5). Nella concezione newtoniana dello spazio–tempo (§ 2.5.1), mancava, a differenza della meccanica antica, greca e medievale, un sistema di riferimento assoluto per i corpi in quiete (il cielo delle stelle fisse della meccanica tolemaica). Tuttavia, in base al cosiddetto principio di relatività galileiana, esistevano sistemi di riferimento assoluti per sistemi inerziali in moto rettilineo uniforme gli uni rispetto agli altri. In questo senso, esistevano misure assolute dello spazio e del tempo.

Tale assolutezza entrò in crisi quando si cominciò a considerare seriamente la velocità finita della luce (verità conosciuta fin dai tempi di Newton) e, soprattutto, il fatto che le equazioni di Maxwell dei sistemi elettromagnetici sembravano non rispettare il principio di relatività galileiano, principio la cui validità sembrava ridursi così ai soli sistemi meccanici. Il giovane Einstein (Cfr. § 2.5.2) propose invece una teoria che da una parte estendeva anche ai sistemi elettrodinamici il principio di relatività e quindi l'invarianza delle leggi della fisica, dall'altra manteneva il carattere *assoluto* della velocità della luce. Occorreva dunque sostituire alle trasformazioni di Galileo fra sistemi di riferimento inerziali, delle altre trasformazioni che correggessero le misure relative di spazio (contrazione dello spazio) e di tempo (dilatazione del tempo) a partire dal principio del limite invalicabile della velocità finita della luce. Tali trasformazioni erano quelle di Lorentz, definite per rendere conto dell'esperimento di Michelson–Morley, col quale si pose ufficialmente fine all'ipotesi dell'esistenza dell'etere meccanico. Teoricamente ciò significava l'impossibilità di considerare spazio e tempo come grandezze *indipendenti*.

Almeno per misure di grandezze spaziali su grandi distanze e/o per misure di grandezze spaziali su corpi che si muovono a velocità prossime a quelle della luce, se i segnali relativi agli strumenti di misura non possono viaggiare comunque a velocità superiori a quelle della luce, è inconcepibile considerare le misure spaziali indipendentemente da considerazioni temporali. Di qui la nozione di *cronotopo (tempo–spazio) einsteiniano* dove il tempo diviene la quarta, inscindibile dimensione dello spazio.

Ma queste modifiche paradossali a livello di rappresentazione della realtà fisica non sono le conseguenze più sconvolgenti della relatività speciale. Ancora più sconvolgente sono le ultime due relazioni — l'aumento relativistico della massa per corpi accelerati a velocità prossime a quelle della luce e la conseguente reciproca trasformabilità massa–energia — diretta conseguenza del fatto che la velocità della luce costituisce un limite superiore per tutti i moti di enti fisici. In § 2.5.3, infine, abbiamo illustrato l'estensione dei principi della relatività anche ai sistemi gravitazionali. La relatività speciale aveva infatti reso invarianti le leggi della fisica non solo per i sistemi meccanici — principio di relatività galileiana —, ma anche per i sistemi elettrodinamici che obbediscono alle equazioni di Maxwell. Restavano però fuori i sistemi gravitazionali. Infatti, il principio di relatività speciale sembrava contrastare con l'evidenza che gli effetti della gravitazione si trasmettono istantaneamente anche a grandi distanze. La geniale soluzione di Einstein fu di reinterpretare il ruolo della gravitazione, così da ampliare la teoria della relatività speciale o ristretta in quella *generale*. Secondo la reinterpretazione di Einstein, la gravitazione non è una forza che agisce direttamente sui corpi, ma modificando la struttura dello spazio–tempo in cui essi si muovono. In breve, i corpi celesti percorrono traiettorie curve non perché la forza gravitazionale agisce direttamente su di essi, ma effettivamente perché la distanza più breve che unisce due punti su una superficie curva non è una retta, ma una geodetica. In tal maniera, per la prima volta nella storia del pensiero, la misteriosa forza di gravità trovava una sua spiegazione matematica. Una spiegazione pagata al prezzo di sostituire, nella rappresentazione dei corpi soggetti alla forza gravitazionale e che quindi si muovono su distanze *megaloscopiche,* lo spazio piano euclideo della meccanica e della teoria della gravitazione classiche, con lo spazio curvo della geometria di Riemann. Così, come nella geometria dello spazio curvo, la geometria piana può essere considerata un infinitesimo a curvatura nulla di quella, nella teoria della relatività generale vige il *principio di equivalenza*. In un campo gravitazionale di piccola estensione (p.es., in un ascensore in caduta libera) è come se la gravità non avesse effetto, purché s'introduca al posto di un sistema inerziale, un sistema di riferimento accelerato rispetto al sistema inerziale.

Ma l'ultima e più definitiva rivoluzione nell'ambito della fisica moderna lo ha introdotto lo studio dei sistemi fisici *complessi* (§ 2.6). Tutto è cominciato alla fine del secolo XIX con la scoperta dell'*instabilità dinamica* nel cuore del mito stesso della «scienza assoluta» di laplaciana memoria: la meccanica celeste. Se si cerca di calcolare le soluzioni dell'equazione gravitazionale a 3 e non a 2 corpi, l'equazione risulta non integrabile e instabile. Una piccola variazione nelle condizioni iniziali viene amplificata dalla dinamica, rendendo del tutto impredicibile lo stato finale (§ 2.6.1). L'ulteriore, decisivo passo fu compiuto quasi un secolo dopo con la scoperta che dei sistemi dinamici non–lineari, classici, non–quantistici, caratterizzati da instabilità dinamica, violavano l'ipotesi ergodica: *i sistemi caotici*. Le soluzioni, invece di distribuirsi uniformemente sullo spazio di fase come nel classico sistema dinamico instabile del biliardo a ostacoli convessi, rimangono concentrate in un volume finito dello spazio di fase (attrattore caotico). Questo sebbene, a differenza dei sistemi stabili, questo insieme di soluzioni risulti del tutto impredicibile dalle condizioni iniziali, poiché in quanto instabile, il sistema ha perso completamente memoria delle condizioni iniziali (§ 2.6.2).

Le conseguenze teoriche dei sistemi complessi per l'interpretazione moderna del principio di causalità in relazione al problema del determinismo nei sistemi fisici (§ 2.7), diventano più evidenti considerando i sistemi complessi ed in particolare quelli caotici dal punto di vista dinamico. In tal modo, diviene diretto il collegamento fra i sistemi caotici e l'emergere delle *strutture dissipative* nei sistemi termodinamici non–lineari (§ 2.7.1). Le conseguenze teoriche principali riguardano la necessità di rivedere il modello humiano–kantiano di causalità, basato sulla possibilità di identificare l'antencedente e il conseguente temporale di una relazione causale con l'antecedente e il conseguente logico di una dimostrazione, così che il legame necessitante causale sia identificato con un a priori logico. Da molteplici punti di vista, si suggerisce il modello di causalità aristotelico come più adeguato a rendere conto della relazione causale nell'ontologia dei sistemi caotici, in quanto esso è basato sulla relazione *potenza–atto*. Esso, cioè, non è basato sulla relazione logica di *implicazione*, ma su quella ontologica *potenza–atto*, ovvero sulla non esclusiva dipendenza dello stato finale dalle cause iniziali (= efficiente e materiale), perché dipendente anche da *fattori globali* che controllano l'intera dinamica e che, epistemologicamente, possono essere (parzialmente) conosciuti solo dopo l'accadimento dello stato finale (= causa formale–finale) (§ 2.7.2).

## 2.9 Bibliografia del secondo capitolo

**Quando le date tra parentesi nella referenza sono diverse da quelle in calce al termine della citazione bibliografica, le prime si riferiscono all'edizione (in lingua) originali dell'opera.*


AGNES C., RASETTI M. (1991). Undecidability of the word problem and chaos in symbolic dynamics, *Il Nuovo Cimento* **106B-8:** 879-907.

ANDERSON P. W., ARROW P.J., PINES D. (1988). *The economy as an evolving complex system,* Addison Wesley, Redwood CA.

ARECCHI B., ARECCHI F. T. (1990). *I simboli e la realtà,* Jaca Book, Milano.

ARECCHI F. T. (2000). «Il caos e la complessità». In: *Determinismo e complessità,* a cura di F. T. ARECCHI, Armando, Roma, pp.53-71.

ARNOL'D V. I. (1990). *Teoria delle catastrofi,* Bollati-Boringhieri, Torino.

AUERBACH D., CVITANOVICH P., ECKMANN J.P., GUNARATNE G., PROCACCIA I. (1987). *Physical Review Letters* **58:** 2387-2390.

BASTI G. (1995). *Filosofia dell'uomo,* ESD, Bologna.

BASTI G. & PERRONE A.L. (1992). «A theorem of computational effectiveness for a mutual redefinition of numbers and processes», in I.TSUDA & K.TAKAHASHI (EDS.), *Int. Symp. on Information Physics, as a part of Int. Symp. on Information Sciences (ISKIT '92), Iizuka, Fukuoka, July 12-15, 1992,* Kyushu Institute of Technology Press, Iizuka, 122-133.

— (1996). *Le radici forti del pensiero debole: dalla metafisica, alla matematica, al calcolo,* Il Poligrafo e Pontificia Università Lateranense, Padova-Roma

BELARDINELLI E., PIZZO S.(1993). *Sincronizzazione e caos negli oscillatori biologici,* Pitagora, Bologna.

BOYER C. B. (1968). *Storia della matematica,* Mondadori, Milano, 1982.

CANNATA M. (1994). *Aristotele e Prigogine. I presupposti teorici della «complessità»,* Atheneum, Firenze.

CASATI G. (1991). *Il caos. Le leggi del disordine,* a cura di G. CASATI, Le Scienze S.p.a. Editore, Milano.

CELLUCCI C. (1998) *Le ragioni della logica,* Roma–Bari: Laterza, $2000^2$.

CRUTCHFIELD J.P., FARMER D. J., PACKARD N.H., SHAW R.S. (1987). Il caos. In: CASATI G. (1991), pp. 22-33.

D'ESPAGNAT B. (1980). *I fondamenti concettuali della meccanica quantistica,* Bibliopolis, Napoli.

DRAKE S. (1990). *Galileo Galilei, pioniere della scienza,* Muzzio, Padova, 1992.

FEYNMAN R. (1984). *La legge fisica,* Bollati–Boringhieri, Torino.

— (1989). *QED. La strana teoria della luce e della materia,* Adelphi, Milano

FREEMAN W.J. (2000). *Come pensa il cervello,* Einaudi, Torino.

GAMOW G. (1980). *Trent'anni che sconvolsero la fisica. La storia della teoria dei quanti,* Zanichelli, Bologna.

GATTO A., MARINO A.(1998). *Dinamica economica, complessità e caos. Teorie, metodi e modelli,* Liguori, Roma.

GHIRARDI G. (1997). *Un'occhiata alle carte di Dio. Gli interrogativi che la scienza moderna pone all'uomo,* Il Saggiatore, Milano.

GLEICK J. (2000). *Caos. La nascita di una nuova scienza,* Rizzoli, Milano.

GÖDEL K. (1931). Über formal unentsheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme. *Montash. für Math. u. Phys.* **38**, pp. 173--198DRAKE S. (1990). *Galileo Galilei, pioniere della scienza,* Muzzio, Padova 1992[2].

HAWKING S. W. (1988). *Dal big bang ai buchi neri. Breve storia del tempo,* Rizzoli, Milano.

HAWKING S. W. & PENROSE R. (1996). *La natura dello spazio e del tempo,* Sansoni, Firenze.

HEISENBERG W. (1955). *Natura e fisica moderna,* Garzanti, Milano, 1985.

HUSSERL E. (1911). *La filosofia come scienza rigorosa,* tr.it. di Corrado Sinigaglia, Laterza, Roma-Bari, 1994.

— (1954). *La crisi delle scienze europee e la fenomenologia trascendentale,* tr. It. A cura di E. Filippini, Il Saggiatore, Milano, 1968[3].

KANT I. (1787). *Critica della ragion pura,* 2 vv., Laterza, Roma–Bari, 1971[4].

KAUFFMAN S. (1992). *The origins of order. Self-organization and selection in evolution,* Oxford University Press, Oxford-New York.

— (1995). *A casa nell'universo. Le leggi del caos e della complessità,* Editori Riuniti, Roma, 2001.

— (2000). *Investigations.* Oxford University Press, Oxford-New York.

KOYRÉ A. (1965). *Studi newtoniani,* Einaudi, Torino 1983[2].

LORENZ E. N. (1963). Deterministic non–periodic flow, *Journal of Atmosph. Sc.,* **20**:130-141.

MUSSO P. (1997). *Filosofia del caos,* Franco Angeli, Milano.

NEWTON I. (1704). *Optice,* trad. Latina a cura di S. Clarke, Losanna e Ginevra.

ODERBERG D. S. (1999). (ED. BY) *Form and matter. Themes in contemporary metaphysics,* Blackwell Publ., Oxford.

PENROSE R. (1999). *The large, the small and the human mind,* Cambridge University Press, Cambridge–New York–Melbourne.

PERRONE A. L. (1995). A formal scheme to avoid undecidable problems. applications to chaotic dynamics characterization and

parallel computation, *Lecture Notes in Computer Science*, **888**:9-48, Springer, Berlin.

— (2000). A new approach to chaotic systems characterization and its implications for biology, *Aquinas* **48-2:** 342-360.

POPPER K. R. (1975). *Conoscenza oggettiva. Un punto di vista evoluzionistico,* Armando, Roma.

— (1978). *La ricerca non ha fine. Breve autobiografia intellettuale,* Armando, Roma.

PRIGOGINE I. (1981). *Dall'essere al divenire,* Einaudi, Torino, 1986.

— (1999). *Le leggi del caos,* Laterza, Roma-Bari.

PRIGOGINE I. & STENGERS I. (1979). *La nuova alleanza. Metamorfosi della scienza,* Einaudi, Torino, 1999.

RUELLE D. (1984). Determinismo e predicibilità. In CASATI (1991), pp. 13-21.

— (1992). *Caso e caos,* Bollati Boringhieri, Torino.

SERRA R. & ZANARINI G. (1986). *Tra ordine e caos. Autoorganizzazione e imprevedibilità nei sistemi complessi,* Clueb, Bologna.

RYLE G. (1949). *The concept of mind,* Routledge & Keegan Paul, London.

SEGRÉ E. (1996). *Scoperte e personaggi della fisica. Da Galileo ai quark,* Mondadori, Milano.

SELVAGGI F. (1964). *Causalità e indeterminismo,* Pontificia Università Gregoriana, Roma.

STACEY R.D. (1996). *Management e caos. La creatività nel controllo strategico dell'impresa,* Guerini & Associati.

STRUMIA A. (1992). *Introduzione alla filosofia della scienza,* ESD, Bologna.

STUART I. (2000). Mathematics: the Lorenz attractor exists, *Nature* **406:** 948-949.

TARSKI A. (1944). «The semantic conception of truth and the foundations of semantics», in: *Readings in philosophical analysis,* H. FEIGL (ED.), New York: Cambridge University Press, pp. 52-84.

TEGMARK M., WHEELER J. A. (2001). «100 years of quantum mysteries», *Scientific American,* **284-2:** 68-75.

THOM R. (1977). *Stabilità strutturale e morfogenesi,* Einaudi, Torino, 1980.

— (1980). *Modelli matematici della morfogenesi,* Einaudi, Torino, 1985.

— (1990). *Semiophysics: a sketch. Aristotelian physics and catastrophe theory,* Addision–Wesley, Redwood, Ca..

TUCKER W. (1999). The Lorenz attractor exists, *C. R. Acad. Sci. Paris,* **328-I:**1197-1202.

TURING A.M. (1937). On computable numbers with an application to the *Entscheidung* problem, *Proceedings of the London Mathematical Society,* **42:** 230-265.

VIANA M. (2000). What's new on Lorenz strange attractors, *Mathem. Intell.*, **22:** 6-19

VON BERTALANNFY L. (1965). Teoria generale dei sistemi. In: AGAZZI E. (A CURA DI), *I sistemi tra scienza e filosofia*, SEI, Torino, 1978, pp. 25-104.

VULPIANI A. (1994). *Determinismo e caos*, Carocci, Roma.

WEBB J.C. (1980). Mechanism, mentalism and metamathematics, Reidl, Dordrecht.

ZEH H. D. (2001). *The arrow of time*, Springer, Berlin, 2001[4] (in press).

# 3. La ricerca sui fondamenti nel XX secolo

*Dal fallimento del programma formalista di Hilbert, alla scoperta dei teoremi di incompletezza di Gödel nei fondamenti della logica e della matematica, alla conseguente morte scientifica dello scientismo, alla nascita della filosofia della scienza e alla rinascita della filosofia della natura, per affrontare criticamente i problemi epistemologici ed ontologici suscitati dalle rivoluzioni scientifiche del XX secolo.*

## 3.1 Morte scientifica dello scientismo

### 3.1.1 Premessa

Già abbiamo accennato nella trattazione dei sistemi caotici ad una possibile, profonda relazione fra incompletezza dei sistemi formali, logico–matematici e indeterminazione nei sistemi caotici. Approfondiamo ora la sconvolgente scoperta dell'incompletezza dei sistemi formali dal punto di vista della teoria dei fondamenti della matematica e della logica, completando quanto alla fine del Primo Capitolo avevamo detto a proposito della «crisi dei fondamenti» apertasi con la scoperta delle *antinomie* (Cfr. 1.5.2, pp. 79ss.).

La conseguenza della revisione dei fondamenti della fisica: impossibilità di un'unica teoria

Come abbiamo visto, *la revisione dei fondamenti* operata nel secolo XIX non riguarda solo le *scienze matematiche pure*, ma coinvolge anche le *scienze matematiche applicate* e, prima fra tutte, la *regina* di queste scienze: la *meccanica*. Come all'inizio dell'età moderna si supponeva che potesse esistere *una sola geometria* (apodittica) e alla fine del XIX secolo questa falsa idea doveva essere sostituita dalla possibilità di avere *un'infinità di geometrie* possibili (ipotetiche), così all'inizio dell'età moderna si supponeva che potesse esistere *una sola meccanica* (apodittica), quella di Newton, per scoprire all'inizio del XX secolo che ne potevano esistere ben più di una e tutte ipotetiche: *la meccanica classica*, quella *quantistica* e quella *relativistica*, ognuna valida in un ambito preciso della realtà fisica — rispettivamente, macroscopico, microscopico e megaloscopico — ma soprattutto ognuna *ipotetica* e sostituibile da una teoria più adeguata. In particolare, per il *principio di equivalenza* sopra ricordato (Cfr. § 2.5.3, p. 140), la meccanica classica e quella della relatività generale sono già unificate, nel senso che la mecca-

nica classica costituisce un sotto–insieme di quella relativistica. Resta il problema dell'unificazione fra teoria della relatività generale ed elettrodinamica quantistica, ovvero la costruzione di una teoria consistente della *gravità quantistica* o «teoria di grande unificazione». Tuttavia, tale teoria è ancora lontana da venire, ma, in ogni caso, una volta che fosse costruita, sarà sempre una teoria ipotetica, provvisoria, ulteriormente perfettibile.

Forse ben più radicali rivolgimenti concettuali porterà nell'epistemologia e nell'ontologia della scienza moderna la quasi neonata *scienza della complessità*. Concepita nell'alveo di studio dei sistemi macroscopici della meccanica classica, essa appare in grado di inglobare entro di sé, come propri casi particolari, non solo la meccanica classica (e relativistica), ma forse anche quella quantistica. In tal modo la scienza della complessità si propone implicitamente come nuovo, ulteriore paradigma per una teoria di «grande unificazione». Nell'ultima sottosezione abbiamo già accennato al più evidente degli sconvolgimenti intellettuali introdotti dalla scienza della complessità: la rivoluzione nell'interpretazione moderna del *principio di causalità*. Ma si tratta di una teoria scientifica troppo giovane per valutarne oggi appieno la portata.

Il carattere ipotetico e incompleto di ogni linguaggio formale e il senso dei teoremi di limitazione in logica e matematica: «la ricerca non ha fine»

In ogni caso, di fronte a tali e tanti terremoti concettuali, viene spontanea la domanda: questo carattere *ipotetico*, comunque *incompleto* (definiremo fra poco il senso preciso di questo termine) e dunque *parziale* e *provvisorio* di ogni teoria formale o linguaggio formalizzato nella scienza è legato ad un momento transeunte della storia del pensiero scientifico e logico, oppure è espressione di una situazione più radicale? In altri termini, esistono dei precisi *teoremi di limitazione* sulla potenza (consistenza e verità) dei linguaggi e dei sistemi formali della scienza (Cfr. *infra* § 3.1.3 e § 3.1.4, pp. 195ss.), teoremi che, come tutti, hanno una validità *universale* e *necessaria*, sebbene siano sempre e comunque validi solo all'interno di un particolare formalismo logico?

Ipoteticità di una teoria, significa impossibilità di una verità e coerenza assolute, non parziali.

Chiaramente la risposta è affermativa: esistono svariati teoremi logici, semantici e sintattici di limitazione della validità dei sistemi formali e dei linguaggi formalizzati costruibili nelle diverse scienze. Il che non significa affatto che non esista più la *verità* e la *coerenza* nella logica del discorso scientifico e dei discorsi razionali in generale, quelli metafisici in particolare, come una *strumentalizzazione nihilista* — ed il suo corrispettivo teologico, *fideista* — di questi teoremi vorrebbe far credere ad un'opinione pubblica sprovveduta. Vuol dire soltanto che, per usare una famosa espressione di Popper, non per nulla messa per titolo della sua *Autobiografia intellettuale* (Popper 1978), che «la ricerca non ha fine».

Necessità di sistemi logici «aperti»

Vedremo, nel corso di questo capitolo (Cfr. § 3.1.5, pp. 197ss.), come la conseguenza di questi teoremi di limitazione, e di quelli di Gödel in par-

ticolare, è la necessità di considerare i sistemi logici (teorie scientifiche incluse) come sistemi «aperti», legati al contesto applicativo ed in grado di adeguare gli assiomi, superando la staticità dei sistemi formali classici (Cellucci 1998).

Questa scoperta non è nuova, piuttosto è una «riscoperta» di una teoria classica

È importante sottolineare, perciò, che questi risultati della riflessione moderna sui fondamenti della logica e della matematica pure ed applicate, come i teoremi di limitazione, non introducono *dottrine assolutamente nuove* nell'ambito della ricerca logica e, più in generale, metafisica. Piuttosto ripropongono, *in una forma rigorosa e assolutamente non ambigua,* alcune convinzioni comuni alla più alta riflessione logica classica sui medesimi argomenti[72]. Ciò che in particolare i risultati della contemporanea riflessione sui fondamenti eliminano una volta per sempre dalla storia del pensiero sono gli eccessi del *razionalismo*, sia nelle sue forme filosofiche, classiche e moderne — idealismo, naturalismo, storicismo —, sia nelle sue forme scientifiche moderne — scientismo, meccanicismo, evoluzionismo.

La controparte teologica di questa verità logica ed epistemologica

Valga, una per tutte, questa citazione dalla recentissima *Enciclica «Fides et Ratio»* del 1998, in cui il Papa Giovanni Paolo II riproponeva, come coerente col millenario insegnamento della Chiesa, una dottrina sullo specifico rapporto fra *filosofia* e *verità* del tutto compatibile con i risultati della ricerca logica contemporanea sui fondamenti, dandone anche — come proprio del particolare tipo teologico di discorso quale quello di un insegnamento *ex cathedra* di un Pontefice — un significato teologico–morale e storico–antropologico che, ovviamente, esula dagli scopi di una riflessione logico–epistemologica come la nostra. Afferma testualmente Giovanni Paolo II al n. 51 della suddetta *Enciclica*:

> Si deve considerare, in modo particolare, che *una è la verità*, benché le sue espressioni portino l'impronta della storia e, per di più, siano opera di una ragione umana ferita e indebolita dal peccato. *Da ciò risulta che nessuna forma storica della filosofia può legittimamente pretendere di abbracciare la totalità della verità, né di essere la spiegazione piena dell'essere umano, del mondo e del rapporto dell'uomo con Dio* (corsivi nostri).

Con questa doverosa premessa, accingiamoci allora ad illustrare l'ultimo passo di questa nostra breve ed incompleta rassegna storica sulla riflessione sui fondamenti, conseguente alle «rivoluzioni scientifiche» dei secoli XIX-XX. Tale passo consisterà essenzialmente nell'illustrare quei *teoremi di limitazione* riguardo le procedure formalizzate di dimostrazione

---

[72] Per convincersi di questo, si legga il capolavoro di un logico quale J. BOCHENSKI, *La logica formale*, (Bochenski 1956) che dimostra la sostanziale continuità fra logica formale moderna (logica matematica inclusa) e logica classica (greca e medievale) — con alcune estensioni anche alla logica orientale, quella indiana in particolare.

delle diverse scienze, ma anche di tutte le discipline razionali, metafisica compresa, nella misura in cui si sforzano di *formalizzare* le loro affermazioni e le loro dimostrazioni. Ovvero si sforzano di «renderle trasparenti» ad un onesto esame della loro consistenza e verità, senza nascondersi dietro il fumo delle parole e delle ambiguità, per non strumentalizzare l'altrui ignoranza e credulità.

### 3.1.2 Approccio formalista

Dalle antinomie al formalismo di Hilbert

Avevamo lasciato la riflessione sui fondamenti della logica e della matematica del XIX secolo con l'inquietante scoperta delle antinomie, non solo nella *teoria degli insiemi* cantoriana (Cfr. § 1.5.2.1, p. 79ss.), ma anche nell'approccio *logicista* fregeano alla *teoria delle classi*, come teoria dei fondamenti della logica e della matematica (Cfr. 1.5.2.2, p. 81ss.). Il passo ulteriore fu compiuto da colui che sicuramente è da annoverare come uno dei massimi matematici del XX secolo, sicuramente il più influente della prima metà del '900: David Hilbert (1862-1943). A lui si devono svariati contributi, non solo sui fondamenti della logica matematica, ma anche sui fondamenti della geometria, dell'algebra, nonché lo sviluppo di un formalismo geometrico–algebrico («gli spazi di Hilbert»), fondamentale per la formalizzazione matematica della meccanica quantistica. Un compito questo cui egli si diede con particolare impegno, dopo la dimostrazione, ad opera dei teoremi di incompletezza di Gödel, del sostanziale fallimento del suo approccio, cosiddetto *formalista,* ai fondamenti della logica matematica.

La distinzione hilbertiana della forma logica dei linguaggi dalla loro consistenza e verità

La «via di fuga» hilbertiana all'antinomicità che l'approccio logicista fregeano reca con sé consiste essenzialmente nel separare il problema dell'analisi formale di un linguaggio dai problemi di *verità* e *consistenza* del medesimo. Lungi dall'essere un rifiuto dell'importanza delle questioni della verità o del significato per la logica e per la matematica, la scelta hilbertiana consiste nel separare le procedure logico–formali di *dimostrazione* e di *inferenza* (= logica) dalla *prova della loro consistenza e verità* (= metalogica).

Ovvero, la distinzione hilbertiana dell'analisi logica da quella metalogica

In sintesi, come il risultato fondamentale della ricerca fregeana sui fondamenti fu non la teoria sui fondamenti da lui proposta — il logicismo — ma lo sviluppo di un nuovo *metodo logico–formale* di indagine, la *logica simbolica* o *logica matematica*, così il risultato principale della ricerca hilbertiana sui fondamenti non fu la teoria formalista da lui proposta, ma lo sviluppo di una *distinzione metodologica fondamentale* nella logica moderna, matematica e non: la distinzione fra *analisi logica* e *analisi metalogica* dei linguaggi formali. Una distinzione che riprendeva in forma rigorosa e moderna la classica distinzione scolastica fra, rispettivamente *logica minor,* come analisi logica delle procedure dimostrative delle forme proposizio-

nali di un determinato linguaggio formale (p.es., nella logica aristotelica, l'analisi sillogistica) e *logica maior*, come analisi della consistenza, della verità e del significato delle medesime forme proposizionali e delle procedure dimostrative di quel linguaggio.

Banalmente, la distinzione fra *logica* e *metalogica* si rifà ad una distinzione più fondamentale in semantica fra *linguaggi* e *metalinguaggi*.

La distinzione più generale fra linguaggio e metalinguaggio

Un «*metalinguaggio**» in generale è un linguaggio in cui si parla di un altro linguaggio, detto per questo «linguaggio–oggetto». Così, per esempio, se scrivo in italiano una grammatica della lingua inglese, l'italiano sarà metalinguaggio dell'inglese preso come suo «linguaggio–oggetto». Il termine «linguaggio–oggetto» deriva dal fatto che se analizziamo con attenzione i predicati del metalinguaggio vediamo che essi si distinguono da quelli del relativo «linguaggio–oggetto» per il fatto che mentre i primi hanno per argomento (grammaticalmente: hanno per soggetti) *nomi* che si riferiscono ad *oggetti* extralinguistici, i predicati del metalinguaggio hanno per argomento *nomi* che si riferiscono ad *oggetti* linguistici, più esattamente nomi che si riferiscono a intere proposizioni del linguaggio–oggetto. Ed infatti, per scrivere correttamente proposizioni metalinguistiche dovrò usare particolari attenzioni, p.es., un uso opportuno delle virgolette « », oppure costruzioni dichiarative del tipo: «è *vero* (*coerente*, *dotato di significato*, *univoco*, *analogo*, …, o qualsiasi altro predicato metalinguistico) che: "…"».

Prendiamo per esempio un enunciato espresso nel linguaggio della geometria euclidea:

> un angolo piatto è la somma di due angoli retti.

Carattere metateorico del problema della coerenza e della verità degli enunciati di una teoria

L'affermazione della *coerenza* di tale enunciato con gli assiomi della geometria euclidea sarà un enunciato *metateorico* del tipo *sintattico*:

> «Un angolo piatto è la somma di due angoli retti» è coerente con gli assiomi della geometria euclidea. [Oppure: È coerente con gli assiomi della geometria euclidea *che* un angolo piatto è la somma di due angoli retti]

Allo stesso modo l'affermazione della *verità* di tale enunciato entro il linguaggio formale della geometria euclidea, sarà un enunciato *metateorico* del tipo *semantico*:

> «Un angolo piatto è la somma di due angoli retti» è vero nella geometria euclidea. [Oppure: È vero nella geometria euclidea *che* un angolo piatto è la somma di due angoli retti]

Come si vede, l'enunciato posto fra virgolette fa da soggetto al predicato «è coerente» o «è vero». Oppure, nella formulazione chiusa entro parentesi quadre, fa da soggetto ai suddetti predicati la proposizione introdotta

da «che». Ed infatti nell'analisi logica imparata a scuola, la suddetta proposizione viene definita come «dichiarativa *soggettiva*».

Punto di partenza della riflessione di Hilbert sui fondamenti fu la convinzione che nell'analisi fregeana proprio la mancanza di tale distinzione fra linguaggio e metalinguaggio fosse la radice del suo fallimento. La radice del fallimento fregeano era nella convinzione, tipica dell'approccio logicista, che nella logica si dovesse procedere da premesse necessariamente *vere* e quindi fra di loro *coerenti*, così che l'analisi della verità e della consistenza (coerenza) delle proposizioni non facesse parte dei compiti della logica formale.

Le tre fasi della costruzione di una teoria secondo Hilbert

Fin dal suo pionieristico lavoro sugli invarianti algebrici del 1892, Hilbert distingueva tre fasi della costruzione di ogni teoria matematica (Cfr. Webb 1980, 76):

- *Naive*: corrispondente alla formazione dei concetti ed alla loro applicazione informale alla soluzione dei problemi;
- *Formale*: corrispondente alla scoperta e allo sviluppo di algoritmi per il calcolo simbolico;
- *Critica*: teoremi generali di esistenza, provati, se possibile costruttivamente.

Tale distinzione anticipava sostanzialmente quella più matura e famosa della filosofia hilbertiana della matematica e risalente al 1918, che distingueva nella costruzione di ogni teoria matematica fra:

- Una teoria matematica *informale* e intuitiva;
- Una *formalizzazione* di tale teoria (includente una logica sufficiente);
- Lo studio *metamatematico* della consistenza di tale formalizzazione.

Per capire la distinzione fra la *matematica* e/o la *logica* formali, come insiemi consistenti di procedure di dimostrazione e di calcolo, e la *metamatematica** e/o la *metalogica**, come prova della verità e della consistenza logiche delle prime — distinzione che costituisce il nucleo del cosiddetto «programma hilbertiano» di fondazione della matematica e della logica —, bisogna inserire tale distinzione nello sviluppo del lavoro matematico–tecnico svolto da Hilbert in quegli anni.

La formalizzazione hilbertiana della geometria euclidea

Una delle prime e più fondamentali acquisizioni del lavoro hilbertiano, dopo la sua giovanile opera sugli invarianti algebrici in cui aveva dimostrato le capacità di un metodo algoritmico (*finito*) di prova, fu la sua famosa dimostrazione sul calcolo delle distanze che costituisce il nucleo dei suoi *Fondamenti della geometria* (1898-99). Scopo di tale lavoro era la

dimostrazione dell'indipendenza della geometria pura dai numeri, mostrando che tutta la geometria piana (euclidea) può essere rappresentata come una particolare, astratta struttura algebrica detta *campo commutativo*. Così centro della sua opera sui fondamenti della geometria euclidea fu la dimostrazione che la *geometria analitica* non ha alcun bisogno di supporre l'esistenza di numeri per giustificare l'uso dell'algebra al suo interno. Un risultato questo che riprendeva e confermava, applicandola alla geometria euclidea, il risultato già ottenuto da Riemann con le geometrie non–euclidee (Cfr. sopra § 1.5.1.2, p. 72ss.)

> i numeri non sono così differenti dagli oggetti geometrici, dopo tutto: per quanto possano sembrare disparate le loro origini epistemologiche *le essenziali proprietà di ambedue sono espresse dai medesimi assiomi* (…). Fu questo tipo di risultato della geometria di Hilbert a dare un contributo decisivo al «formalismo» . Dal momento che degli oggetti matematici così apparentemente differenti possono soddisfare le stesse leggi, ne derivò la tendenza naturale *a dimenticare gli oggetti e a focalizzare l'attenzione sulle leggi stesse* (Webb 1980, 78).

Separazione assoluta della forma logica della teoria dal suo significato e dalla sua verità

In tal senso diviene comprensibile come per Hilbert appariva irrilevante per giustificare la costituzione dell'ente matematico la questione del significato del medesimo. Diverse *interpretazioni** o *modelli** di esso erano altrettanto ammissibili e non inficiavano minimamente la consistenza del simbolo all'interno del sistema formale. Per dirla nei termini di Boole a proposito della sua algebra :

> ogni sistema di interpretazione che non infici la verità delle relazioni supposte è ugualmente ammissibile (cit. in Webb 1980, 79).

Si comprende allora come ciò che diveniva essenziale per la costruzione degli assiomi di un determinato sistema formale non era per Hilbert la verità dell'assioma stesso, preso isolatamente, secondo una sua particolare interpretazione o significato referenziale, ma al contrario *la verità* e *l'esistenza* dell'assioma dipendeva dalla sua «compatibilità» col resto del sistema. Dipendeva dal fatto che esso non entrasse in contraddizione col resto del sistema medesimo, o, in altri termini, che esso fosse *consistente* col resto del sistema. Di qui la polemica con Frege, affidata in particolare ad un famoso epistolario fra i due.

Infatti, per Frege la consistenza degli assiomi di un sistema formale quale la geometria euclidea deriva immediatamente dalla loro verità, dal fatto di riferirsi adeguatamente ad un insieme di oggetti astratti, concettuali (*enti matematici*). Affermava Frege al riguardo :

Mancanza di questa distinzione in Frege: verità → coerenza

> vi sono forse altri modi per provare la consistenza (di un sistema di assiomi, *N.d.R.*) che quello di esibire un oggetto che gode di tutte le proprietà (definite dagli assiomi: di nuovo il principio di evidenza,

> *N.d.R.*)? Comunque, se si ha a disposizione un tale oggetto, non si ha alcuna necessità di provarne l'esistenza mediante la via tortuosa di provare la consistenza di tale oggetto (cit. in Webb 1980, 87).

In altri termini, per Frege dalla verità degli assiomi deriva immediatamente la consistenza loro e dei teoremi da essi derivabili, ovvero la loro coerenza con l'insieme degli altri oggetti del dominio. Viceversa per Hilbert,

> è proprio questa procedura di costruire un assioma facendo appello alla sua verità e di concludere da questo che è compatibile con gli altri concetti definiti, che si trova la sorgente primaria di errori e confusioni (*ibid.*).

Istanza formalista in logica cui corrisponde un'istanza razionalista in metafisica da parte di Hilbert

Un'affermazione questa di Hilbert che veniva suffragata proprio dalla scoperta delle antinomie nel sistema di Frege. L'alternativa da lui proposta in una famosa lettera a Frege è così esattamente l'opposta di quella del suo interlocutore :

> se gli assiomi *arbitrariamente posti* non si contraddicono l'un l'altro, allora essi sono *veri* ed *esistono* gli oggetti definiti per mezzo di essi. Per me è questo il criterio della verità e dell'esistenza (*ibid.* Corsivi nostri).

Come si vede, ad un'*istanza formalista–nominalista* in logica — gli assiomi possono essere posti arbitrariamente — corrisponde, da un punto di vista metafisico, *un'istanza razionalista di tipo parmenideo* riguardo la nozione di «essere». Non solo si riduce l'essere all'univocità dell'esistenza e dell'esistenza *necessaria*, ma la sua fondazione diventa equivalente alla dimostrazione della sua *non–contraddittorietà*. Torneremo su questa implicazione metafisica e sulla sua fondatezza metalogica al termine di questa sottosezione, mentre accenneremo nella Seconda Parte ai principi fondamentali della metafisica razionalista parmenidea (Cfr. 5.1.4, pp. 310 ss.).

In sintesi, la posizione di D. Hilbert nella sua controversia con G. Frege sulla fondazione della matematica e, più in generale, della logica formale, consiste essenzialmente nell'affermare che non solo l'*esistenza* in matematica implica la *consistenza* (non contraddittorietà), ma anche l'opposto vale. Tutto ciò viene espresso da Hilbert sotto forma di supposizione di *completezza** dei sistemi assiomatici.

Il problema della completezza dei linguaggi formali

In altri termini, se mediante un sistema di assiomi s'intende definire in maniera *univoca* e *completa* le proprietà degli oggetti «primitivi» che appartengono ad un determinato sistema formale (p.es., punti, rette e piani in geometria euclidea), sarebbe contraddittorio pretendere di aggiungere altri elementi a quel sistema non derivabili da quegli assiomi, non riconducibili alle proprietà definite da tali assiomi, ed allo stesso tempo mantenere che essi non entrino in contraddizione con gli assiomi stessi.

P.es., in geometria euclidea piana non posso aggiungere senza contraddizione triangoli la cui somma degli angoli interni non sia uguale a 180°. Sebbene io possa esprimere in geometria euclidea l'asserto contraddittorio con i suoi assiomi ed in particolare col V postulato «triangolo la cui somma degli angoli interni è 190°», la geometria euclidea sarà completa:

- Non solo se posso dimostrare che l'asserto «triangolo la cui somma degli angoli interni è 180°» — come tutti gli altri che non contraddicono gli assiomi della geometria euclidea — è *compatibile* (coerente) *con gli assiomi*, dunque *vero* e perciò *esistente* in tale geometria l'oggetto denotato da tale asserto;
- Ma soprattutto se posso dimostrare che l'asserto «triangolo la cui somma degli angoli interni è 190°» — come tutti gli altri che contraddicono gli assiomi della geometria euclidea — è *incompatibile* (incoerente) *con gli assiomi*, dunque *falso*, così che *non esiste* in tale geometria l'oggetto denotato da tale asserto.

Consistenza della geometria euclidea dimostrata mediante un modello sintattico di essa nei numeri reali

Su queste basi, nel capitolo successivo dei *Grundlagen* Hilbert affronta il problema della consistenza della geometria così assiomaticamente definita e la ottiene fornendo un modello o interpretazione di essa definito sui numeri reali. In tale modello, per esempio, tutti gli assiomi della geometria piana divengono proposizioni riguardanti i numeri reali, cioè equazioni o sistemi di equazioni che sono dimostrabili algebricamente. Così però non si è dimostrato che tali assiomi sono «assolutamente» *veri*, bensì semplicemente che *sono dimostrabili nella teoria dei numeri reali*. La verità (consistenza) di questi assiomi e dei teoremi da essi derivabili è così una verità solo *relativa*. Supposta la non contraddittorietà della teoria dei numeri reali, allora sono non contraddittorie anche tutte le proposizioni *isomorfe* (corrispondenti biunivocamente) a proposizioni costruite su *n*-ple (coppie, terne, etc.) di numeri reali e sulle loro relazioni, come per esempio gli assiomi della geometria[73]. Si noti la differenza con Riemann: egli aveva costruito un *modello semantico* della geometria non–euclidea in una geometria euclidea dello spazio curvo. Hilbert costruisce a sua volta un *modello sintattico* (cfr. nota 73) della geometria euclidea nella teoria dei numeri reali (algebrici), che prescinde dal riferimento ai numeri in quanto tali, bensì afferma solo la corrispondenza fra *strutture algebriche* di questi numeri e *strutture geometriche*.

---

[73] Le proposizioni definite sui numeri reali, si dice che costituiscono un modello «sintattico» delle relative proposizioni assiomatiche della geometria, proprio perché la corrispondenza biunivoca o «isomorfismo» fra le due riguarda essenzialmente la struttura delle relazioni e delle relative proprietà, ma non i *nomi* e dunque i *significati* associati agli oggetti posti in quelle relazioni e dotati di quelle proprietà.

Il secondo problema del «programma di Hilbert»: una dimostrazione di completezza dell'aritmetica estesa ai reali

Il secondo problema del cosiddetto «programma di Hilbert» — ovvero quella lista di problemi che stavano di fronte alla matematica del XX sec. gran parte dei quali saranno di fronte anche a quella del XXI, programma formulato da Hilbert stesso nel famoso Secondo Congresso Internazionale di Matematica tenuto a Parigi nel 1900 —, viene definito da Hilbert stesso proprio per tentare di aggirare il problema della dimostrabilità relativa di consistenza dei sistemi formali assiomatici. Tale problema consisteva essenzialmente nel chiedersi se fosse possibile dimostrare che gli assiomi dell'aritmetica — aritmetica dei numeri reali inclusa — sono *compatibili*.

Per evitare un regresso all'infinito, necessità che l'aritmetica possa essere metalinguaggio di se stessa.

Ossia, il problema consisteva nel domandarsi se fosse possibile dimostrare meta-matematicamente che, partendo dagli assiomi dell'aritmetica e procedendo costruttivamente (algoritmicamente) attraverso un numero finito di passi logici di dimostrazione, non si potesse mai giungere a risultati contraddittori. Infatti, per evitare dimostrazioni di coerenza solo relativa, occorrerebbe un modello «sintattico» (Cfr. nota 73) ottenuto entro una teoria matematica la cui consistenza potesse essere provata in maniera *assoluta* senza cioè riferimento ad un'ulteriore teoria. In tal caso occorrerebbe che un linguaggio possa divenire *metalinguaggio* di se stesso, possa cioè divenire *auto-referenziale*. Le lingue naturali offrono numerosi esempi di auto–referenzialità. P.es., è possibile scrivere in lingua italiana una grammatica della lingua italiana. L'italiano può essere dunque metalinguaggio di se stesso. Ma le lingue naturali *non sono* linguaggi formalizzati, sono pieni di ambiguità e, spesso, di contraddizioni.

Il problema diviene perciò: è possibile costruire enunciati auto-referenziali con linguaggi formalizzati senza cadere in ambiguità e in contraddizioni? E nel caso delle matematiche, qual è la teoria matematica che si potrebbe usare come metalinguaggio di tutte le teorie matematiche, inclusa se stessa? È chiara comunque la posta in gioco: se una tale ricerca avesse avuto successo, avremmo potuto parlare nelle matematiche di nuovo della possibilità di dimostrazioni algoritmiche *assolute* di coerenza o di verità, senza più usare l'ambiguo riferimento all'evidenza, ma solo procedure formali finite (algoritmiche), perfettamente *certe* di dimostrazione.

Nuova forma di dimostrazione assoluta di consistenza e verità, senza riferimento all'evidenza

In conformità a tali criteri, la ricerca della suddetta procedura «assoluta» di dimostrazione di non-contraddittorietà dei diversi sistemi formali costruibili nella matematica consisteva innanzi tutto nell'esposizione formale (usando il metodo assiomatico e con l'esplicitazione della logica impiegata) delle tre teorie più fondamentali della matematica moderna: l'aritmetica, l'analisi e la teoria degli insiemi. Data però la stretta relazione esistente fra la definibilità di una qualsiasi classe di numeri e la classe dei numeri naturali, il programma di Hilbert fin dall'inizio si concretò nella

speranza che fosse possibile la dimostrazione diretta di non–contraddittorietà dell'aritmetica formale *dall'interno* dell'aritmetica stessa..

Realizzazione di questa parte del programma di Hilbert nella ricerca di Gödel

Questa centralità dell'aritmetica fu ulteriormente acuita dallo sviluppo da parte di Gödel (e successivamente da parte di Turing) di un metodo di codifica aritmetica di un qualsiasi linguaggio formale. Naturalmente, questa dimostrazione di non - contraddittorietà supponeva la completezza dell'aritmetica assiomatica, in una maniera analoga alla supposizione di completezza per la geometria che già conosciamo. Ovvero, supponeva che, dato un insieme di assiomi per formalizzare l'aritmetica intuitiva (*naive*) come gli assiomi di Peano (Cfr. nota 20, p.76), si potessero dedurre da essi, con un numero finito di passi, in maniera *univoca* e *completa* tutte le proprietà degli oggetti «primitivi» dell'aritmetica, senza dar luogo a proposizioni contraddittorie dedotte coerentemente dagli assiomi stessi.

Questa supposizione di completezza dell'aritmetica formale, ed il metodo finito (algoritmico) da seguire per dimostrarla meta–matematicamente al suo interno, era stato formulato da Hilbert fin dal 1900, in un saggio sul concetto di numero (*Über den Zahlbegriff*). Un saggio che era stato oggetto di discussione, insieme alla supposizione di completezza della geometria, nella conferenza di Hilbert alla società matematica di Gottinga del 1901. Una conferenza, fra l'altro, importantissima per la storia della filosofia contemporanea, perché ad essa era presente il giovane Husserl che proprio dalla conferenza di Hilbert trasse ispirazione per il suo tentativo di formulare un approccio «trascendentale» alla fenomenologia. Un approccio svincolato da ogni riferimento all'intenzionalità *psicologica,* e dunque in grado di rispondere all'accusa di *psicologismo* che Frege formulò ai primi tentativi husserliani, nella sua *Filosofia dell'aritmetica,* di una fondazione intenzionale, fenomenologica, del concetto di numero e/o d'insieme.

### 3.1.3 Teoremi di Gödel

Fu l'opera geniale di un matematico austriaco, Kurt Gödel (1906-1978) nella prima delle sue opere giovanili (Gödel 1931) a realizzare il suddetto programma di Hilbert nei suoi due punti qualificanti:

Due passi:

1. Invenzione di un metodo universale di codifica aritmetica per sistemi formali

- Dapprima, Gödel inventò un *metodo universale di codifica aritmetica* degli enunciati di un linguaggio formale, abbastanza potente da poter contenere gli stessi assiomi dell'aritmetica formalizzata, l'aritmetica di Peano[73]. In tal modo, ogni enunciato del suddetto linguaggio formale si trasformava in una stringa di numeri, ogni operazione logica su proposizioni in un'operazione su numeri naturali e ogni teorema in un teorema della teoria elementare sui numeri naturali.

2. Dimostrazione della completezza dell'aritmetica dall'interno dell'aritmetica stessa

- In un secondo momento, Gödel si dedicò a *dimostrare la completezza* dell'aritmetica usando un siffatto metalinguaggio aritmetico e metodi finiti (algoritmici) di dimostrazione.

Il risultato fu catastrofico per il programma formalista di Hilbert, ed è sintetizzato nei due famosi *teoremi di incompletezza dell'aritmetica*, di cui diamo qui una formulazione puramente intuitiva:

- *Primo teorema d'incompletezza.* Ogni sistema formale *S*, sufficientemente potente da includere gli assiomi dell'aritmetica formalizzata di Peano nella formulazione dei *Principia*, se *consistente* (v. *consistenza**) sarà necessariamente *incompleto* (v. *incompletezza**). Infatti, conterrà necessariamente al suo interno enunciati, *veri*, ma *indecidibili* (v. *indecidibilità**), visto che qualsiasi tentativo di una loro dimostrazione all'interno della teoria implica la simultanea dimostrazione della loro *negazione.*

Fallimento del programma formalista di Hilbert mediante i due teoremi di incompletezza dell'aritmetica

In altri termini, se un sistema formale siffatto vorrà essere *completo* dovrà essere *inconsistente,* perché includerà necessariamente al suo interno teoremi contraddittori. Se viceversa vorrà essere *consistente* dovrà essere *incompleto,* perché dovrà rinunciare a dimostrare tutte le formule vere esprimibili in esso. Dovrà cioè rassegnarsi a contenere enunciati *indecidibili.*

- *Secondo teorema d'incompletezza.* In ogni sistema formale *S*, sufficientemente potente da includere gli assiomi dell'aritmetica formalizzata, l'asserto metalinguistico «*S* è consistente» è un enunciato *indecidibile* in tale sistema.

Come si vede, un siffatto sistema formale *S* non solo non sarà completo, ma non sarà neanche *autoreferenziale**, se vorrà essere *consistente.* In altri termini, un tale sistema se vorrà essere consistente, non solo dovrà essere incompleto, ma anche *sintatticamente «aperto»*: la sua prova di consistenza dovrà essere necessariamente *esterna* al linguaggio formale considerato.

---

[74] Di fatto, Gödel codificò aritmeticamente la formalizzazione degli assiomi di Peano (Cfr. nota 20, p.76), così com'erano stati formulati nei *Principia Mathematica* di Whitehead e Russell.

Scoperta della radice sintattica di tutte le antinomie logiche

In tal modo Gödel intende esplicitamente dimostrare, con i suoi teoremi, la radice formale ultima di tutte le antinomie logiche, sia sintattiche che semantiche, a cominciare dalla famosa *antinomia del mentitore*. Esse dipendono dalla necessità per un sistema formale, per essere assolutamente *vero e coerente*, di dover dimostrare metalogicamente al suo interno la *falsità* di tutte le proposizioni costruibili nel suo linguaggio logico che sono in grado di contraddirlo. È la necessità per ogni linguaggio formale di dover dimostrare al proprio interno *false* le proposizioni in grado di *contraddire* agli assiomi la radice delle antinomie. Ora, se un linguaggio formale non può essere mai così «potente», formalmente robusto, da escludere *tutte* le proposizioni costruibili al suo interno che possono contraddirlo, allora tutti i linguaggi formali sono *fragili*, sempre esposti alla contraddizione. Essi avranno una consistenza sempre *limitata* e sempre esposta a ulteriori prove d'inconsistenza.

Il mito della *certezza assoluta* delle procedure deduttive era distrutto per sempre. L'antica sfiducia per i metodi *induttivi* rispetto a quelli *deduttivi*, perché i primi hanno una certezza sempre limitata, mentre i secondi forniscono certezze *assolute* era svanito per sempre, come una delle tante *mitologie* che la storia del pensiero annovera al suo interno (Cellucci 1998).

## 3.1.4 Teoremi di limitazione

Teoremi di Gödel e teoremi di limitazione in logica e matematica

È difficile sopravvalutare i risultati ottenuti dalle dimostrazioni di Gödel. Soprattutto è difficile alla luce di altre sue estensioni che divengono altrettanti *teoremi di limitazione* dei linguaggi formali, che hanno nel risultato di Gödel la loro origine fontale. Tali estensioni sono molteplici in tutti i campi della matematica e della logica. Ci soffermiamo su due di rilevanza più direttamente logica e quindi metafisica, indicati da Gödel stesso come le estensioni più rilevanti dei suoi risultati. Il primo riguarda l'estensione dei teoremi di Gödel *a tutti i sistemi formali* (e non alla sola aritmetica formalizzata), nella misura in cui ad essi si applicano metodologie finite (algoritmiche) di dimostrazione. L'altra riguarda l'estensione dei teoremi d'incompletezza *sintattica* alla *semantica* e in particolare alla dimostrazione della *verità logica* dei sistemi formali. Se si usano metodi algoritmici di prova della verità, intesa come «corrispondenza ad oggetti» dei suoi asserti, si arriva ai medesimi risultati di indecidibilità. I linguaggi formali non solo devono essere *sintatticamente aperti* perché la prova della loro consistenza dev'essere fatta «dall'esterno» di quel linguaggio, ma devono essere anche *semanticamente* aperti. La prova della «verità» o «corrispondenza ai fatti» di quei linguaggi dev'essere eseguita «dall'esterno» di quel linguaggio. Non solo il mito della *validità assoluta*, ma anche quello dell'*autonomia assoluta* dei linguaggi scientifici da altri tipi

dell'*autonomia assoluta* dei linguaggi scientifici da altri tipi di linguaggio era finito per sempre.

### 3.1.4.1 Teorema di Turing

Estensione del risultato di Gödel a tutti i sistemi formali ad opera di Turing

Il risultato di Gödel, all'inizio, sembrava limitato alla sola aritmetica formalizzata e non al resto dei sistemi formali e quindi al resto degli oggetti linguistici d'analisi della logica formale. Fu l'opera di un altro matematico del XX secolo, Alan Mathison Turing (1912-1954) cui si deve lo sviluppo fondamentale della *teoria della computabilità* e quindi tutto lo sviluppo scientifico e tecnologico degli attuali computer, l'estensione del risultato di Gödel a tutti i sistemi formali e ai metodi algoritmici di dimostrazione e/o di calcolo in tali sistemi.

I teoremi di Church e di Turing

Questa essenziale estensione fu possibile ottenerla grazie, innanzitutto al contributo di un altro logico e matematico dell'Università di Princeton, Alonso Church (1903-1995) cui si deve l'invenzione del *λ–calcolo,* basato sull'ipotesi che tutte le funzioni computabili del calcolo logico e/o matematico erano computabili algoritmicamente mediante funzioni *ricorsive.* Integrando tale scoperta col metodo di codifica di Gödel, A. M. Turing (Turing 1937) inventò uno schema elementare di macchina algoritmica, o, più esattamente di *architettura astratta di calcolo,* la cosiddetta *Macchina di Turing* (MT).

La Macchina di Turing e i limiti della Macchina di Turing Universale

Ciascuna MT è in grado di calcolare in maniera algoritmica una determinata funzione *ricorsiva.* Se nella «memoria» di una MT si pongono le istruzioni adatte (l'algoritmo), una MT può anche simulare il calcolo eseguito da un'altra MT. In tal modo si giunge fino al costrutto della MT Universale (MTU), in grado di simulare il calcolo di qualsiasi MT. La MTU costituisce dunque lo schema logico di un moderno calcolatore multi–programmabile. In tale contesto Turing dimostrò che la MTU non è in grado di terminare le sue computazioni. Non è in grado di enumerare mediante una *procedura di decisione* finita, terminante, tutte le conseguenze deducibili da un certo insieme finito di assiomi. Tale teorema di limitazione viene perciò definito anche *teorema della fermata* della MTU. In altri termini, in un *qualsiasi* sistema formale — e non solo nel sistema dell'aritmetica formale cui si applica l'originaria dimostrazione di Gödel — non è possibile decidere di tutte le conseguenze valide di un insieme di assiomi dato, mediante procedure costruttive o algoritmiche.

### 3.1.4.2 Teorema di Tarski

Estensione dei risultati di Gödel all'analisi semantica della verità nei sistemi formali

Un'estensione dei teoremi di Gödel ed in particolare del secondo teorema, al problema di un'analisi formale della *semantica* di un qualsiasi sistema formale è stata in vece ottenuta dal logico matematico di origine polacca Alfred Tarski (1902-1983). Egli ha dimostrato che la «verità» di

un qualsiasi sistema formale, ovvero la *corrispondenza ad oggetti* designati dai simboli del calcolo formale di un dato linguaggio-oggetto, può essere algoritmicamente decisa solo da un *metalinguaggio* di ordine logico superiore a quello del linguaggio-oggetto.

In altri termini i linguaggi formali non solo devono essere «sintatticamente aperti», se vogliono essere formalmente consistenti, ma anche *semanticamente aperti* ad altri linguaggi formali e, ultimamente, ad altre forme di linguaggio — se vogliono evitare un regresso all'infinito di meta–linguaggi formali di ordine logico via via superiore — per provare formalmente la loro *verità*.

### 3.1.5 Sistemi logici «aperti»

Insufficienza dell'uso di metodi non-finitari per risolvere il problema

La scoperta dei molteplici teoremi di limitazione per i sistemi formali e per metodi finitari di dimostrazione in essi può essere metafisicamente interpretata in diversi modi, anche se non tutti fondati. Molti logici e matematici, a cominciare da Gödel stesso, affermano che i teoremi di limitazione provano solo la necessità di usare *l'intuizione matematica* e quindi *metodi non–finitari*, di dimostrazione (quelli di cui Riemann per primo ci diede un'esemplificazione col suo modello euclideo delle geometrie non–euclidee (Cfr. sopra § 1.5.1.2 pp. 72ss.)), e che quindi, sostanzialmente, tutti questi teoremi dimostrano soltanto i limiti di *metodi meccanici*, algoritmici di dimostrazione[75]. Ciò non è del tutto vero, non solo perché di nuovo re–inserisce nel cuore delle dimostrazioni matematiche un riferimento all'«intuizione» matematica di cui è difficile definire e controllare la consistenza, ma soprattutto perché anche in questo modo non viene garantita quella «assolutezza» alle procedure di dimostrazione, quando esse si debbano esercitare su problemi matematici specifici. I metodi infinitari provano, infatti, enunciati generici, astratti, inutilizzabili per la soluzione di problemi specifici (Cellucci 1998, 254). Ecco come esemplifica Cellucci questa sua asserzione che certo non fa piacere a molti matematici «tradizionali».

> Sia $\mathfrak{S}$ il concetto d'insieme che, secondo Gödel, noi percepiamo per mezzo dell'intuizione. Sia S un sistema coerente della teoria degli insiemi, per esempio quello di Zermelo–Fraenkel. L'intuizione ci assicura che gli assiomi di S sono veri per $\mathfrak{S}$.Ma, per un corollario del primo teorema d'incompletezza di Gödel, esistono un concetto d'insieme $\mathfrak{S}$' e un enunciato *B* tali che gli assiomi di S sono veri anche rispetto a $\mathfrak{S}$', ma *B* è vero rispetto a $\mathfrak{S}$'

[75] Effettivamente G. Gentzen, cinque anni soltanto dopo il lavoro di Gödel dimostrò la completezza dell'aritmetica formalizzata, usando metodi non–finitari di dimostrazione

> e falso rispetto a $\mathfrak{S}$. (Specificamente, se *A* è l'enunciato vero, ma non dimostrabile né refutabile in S dato dal primo teorema d'incompletezza di Gödel, si può prendere come *B* l'enunciato ~*A*). Dal fatto che *B* è vero rispetto a $\mathfrak{S}'$ e falso rispetto a $\mathfrak{S}$, segue che i concetti d'insieme $\mathfrak{S}$ e $\mathfrak{S}'$ non sono equivalenti. Ora, (...) possiamo arrivare a formarci un'intuizione di $\mathfrak{S}'$. Così abbiamo due diverse intuizioni: l'una ci dice che il vero concetto d'insieme è quello dato da $\mathfrak{S}$, e l'altra che dice che il vero concetto d'insieme è quello dato da $\mathfrak{S}'$ In base alla prima intuizione l'enunciato *B* è vero, in base alla seconda *B* è falso. Qual è allora il vero concetto d'insieme? A questa domanda *l'intuizione non sa dare risposta* (Cellucci 1998, 254).

L'esempio appena illustrato da Cellucci è tutt'altro che peregrino in matematica. Esso riguarda una questione-chiave di teoria degli insiemi. Infatti, dopo la dimostrazione ad opera di P.J. Cohen (Cohen 1966) dell'indipendenza dell'ipotesi del continuo dall'assioma di scelta e dunque dal concetto di insieme della teoria assiomatica di Zermelo-Fraenkel (ZF), è possibile costruire un'altra nozione d'insieme, quella di *insieme generico*. In base ad essa Cohen ha costruito la sua teoria degli insiemi, alternativa a ZF, ma l'intuizione non può dirci nulla su quale, delle due, sia la nozione d'insieme vera «in assoluto». Inoltre, ricorda sempre Cellucci, altre esemplificazioni al riguardo dell'incapacità dell'intuizione di fornirci «evidenze conclusive» ci sono fornite dall'esistenza di molteplici assiomatiche alternative sulle teorie dei grandi cardinali.

Altri studiosi — e fra questi soprattutto molti filosofi — tendono, perciò, a dare dei risultati di Gödel un'interpretazione *irrazionalista*, affermando che con essi si sancisce la morte della «ragione scientifica» e delle sue pretese di «verità». Ma affermare che non è possibile raggiungere la verità *assoluta* con mezzi dimostrativi non significa che non è possibile raggiungere *nessuna* verità, neanche una *parziale* e *perfettibile*.

Conseguenze dei teoremi di Gödel

Le conclusioni sono piuttosto altre e necessitano di una distinzione fra le conseguenze *ontologiche* e quelle *logiche* dei teoremi di Gödel:

1. Conseguenze ontologiche: rinnovamento dell'antica contrapposizione fra «nominalisti» e «realisti»

- *Ontologicamente*, è chiaro che la fondamentale proprietà di autoriferimento che caratterizza ogni universale logico in quanto tale e che costituisce la principale scoperta del pensiero logico di ogni tempo da Platone (Cfr. § 5.3.1, pp. 314ss.) in poi — il potersi riferire solo a se stessa di ogni proprietà o «qualità» cui un predicato si riferisce p.es., «l'esser rosso del rosso» o la «rossità» come termine referenziale ultimo, autoriferentesi e ante-predicativo, del predicato «esser rosso», o condizione formale ultima della «chiusura» della classe degli «oggetti rossi» —, non può esser ridotta all'autoreferenzialità di una

procedura metalogica di prova di tipo algoritmico, meccanico. O gli universali logici non esistono — prescindendo dalla modalità con cui sono detti esistere dalle diverse ontologie della logica e della matematica — e il linguaggio logico e matematico non possiede in sé alcun significato, è pura «sintassi» del linguaggio della scienza, pura «notazione senza *denotazione**», puro insieme di «regole d'uso» dei segni matematici; o non sarà certo una metalogica dell'autoreferenzialità formale a garantire significatività al linguaggio logico e matematico. Gli universali logici, mediante cui garantire ultima significatività alle formule logiche e matematiche, se esistono, devono esistere «per se stessi» e non perché una qualche procedura metalogica di prova ne possa giustificarne l'esistenza. I teoremi di Gödel in quanto tali non consentono però di scegliere fra queste due alternative ontologiche che, fa l'altro, ripropongono al pensiero post–moderno la classica contrapposizione pre–moderna fra «nominalisti» e «realisti» della logica tardo–medievale. Gödel opta così per una posizione *fideista* di realismo platonico degli universali.

Un esempio di posizione nominalista (formalista)

Ecco due citazioni di due sommi matematici del XX secolo, Edward Nelson dell'Università di Princeton e lo stesso Kurt Gödel, che esemplificano alla perfezione queste due posizioni ontologiche contrapposte, ma ambedue derivabili dai teoremi d'incompletezza.

Nella matematica, la realtà si trova nelle espressioni simboliche stesse, non nelle entità astratte che le espressioni sono supposte di denotare. Il simbolo ∃ (il quantificatore esistenziale della logica simbolica, l' «esiste» della logica dei predicati, *N.d.R.*) è semplicemente un E a rovescio. Se concludiamo che una certa entità esiste solo perché abbiamo costruito in un certo sistema formale la prova di una certa formula che comincia per ∃, lo facciamo a nostro rischio e pericolo. La dimora del significato è la sintassi; la semantica è la casa dell'illusione.
Come posso continuare a essere matematico quando ho perduto la fede nella semantica della matematica? Perché dovrei voler continuare a fare matematica se non credo più che esistono i numeri e i processi stocastici e gli spazi di Hilbert? Rispondo con un'altra domanda: e perché un compositore dovrebbe voler comporre la musica se poi essa è non–rappresentazionale? La matematica è l'ultima delle arti a diventare non–rappresentazionale. Lentamente, dunque, la matematica comincia a diventare non–rappresentazionale. Lentamente nei dipartimenti di matematica, ma rapidamente nei dipartimenti d'informatica. Coloro che fanno informatica sanno di inventare invece di scoprire, e fabbricano dei risultati belli e profondi sulla natura delle computazioni fattibili. Se noi che ci troviamo nei dipartimenti tradizionali non vogliamo mancare alla partenza della nave, ci conviene sellare un cavallo formalista senza indugio. Le credenze astratte influenzano le azioni concrete. Nonostante la completa mancanza di giustificazione, la prospettiva

> semantica sulla matematica — la scoperta di proprietà di entità che esistono in un mondo pitagorico — ha servito abbastanza bene la matematica durante un lungo periodo. Ma ora è il momento di andare avanti, di scartare la prospettiva semantica, e di concentrarci sul reale nella matematica. E ciò che è reale nella matematica è la notazione, non la denotazione immaginata (Nelson 1997, 247).

Un esempio di posizione realista

Ed ecco invece la posizione di Gödel sulla medesima questione:

> Secondo quest'idea (quella che riduce la matematica a pura sintassi, *N.d.R.*) la metamatematica è quella parte della matematica dotata di significato, per mezzo della quale i simboli matematici (in sé privi di significato) acquisiscono un qualche surrogato di significato, cioè le regole d'uso. Naturalmente l'essenza di questo punto di vista consiste nel rifiutare qualsiasi genere di oggetti astratti ed infiniti, quali sono per esempio i significati immediati dei simboli matematici (gli universali, *N.d.R.*). In altre parole, si riconosce un significato esclusivamente alle proposizioni che parlano di *oggetti concreti e finiti,* come le combinazioni di simboli. (...)
> Ma come si potrebbe pensare ad *esprimere* la metamatematica *nei* sistemi matematici stessi, se si ritiene che questi ultimi consistano in simboli privi di significato che acquistano un qualche surrogato di significato solamente *attraverso* la metamatematica? (Da una lettera di Gödel a H. Wang del 1967, citata in Wang 1974, 18s.).

Si può dire la stessa cosa, da un altro punto di vista, quello secondo il quale in matematica, le proposizioni più fondamentali sono sempre formule analitiche del tipo $a = a$, come «il rosso è rosso». Gödel parte dalla definizione di Carnap, quella secondo la quale una proposizione si dice analitica se è valida «esclusivamente in virtù dei significati che appaiono in essa». Dal che deriva che tale significato può risultare essere indefinibile a sua volta (cioè irriducibile ad un altro più fondamentale).

> Così bisogna osservare che questa concezione dell'analiticità rende di nuovo possibile che ogni proposizione matematica debba ridursi ad un caso speciale di $a=a$ il che è ammissibile, purché si sappia che, se la riduzione si effettua, *ciò non è in virtù della definizione dei termini* (ché allora si introdurrebbe un regresso all'infinito, *N.d.R.*), bensì *in virtù dei loro significati,* i quali non si possono mai esprimere mediante un insieme di regole formali (Gödel 1990, 139).

2. Conseguenza logica: rinuncia ad ogni attribuzione di validità assoluta al pensiero deduttivo

- *Logicamente*, qualsiasi sia la risposta che diamo alla questione ontologica precedente, occorre che, in ogni caso, sia il pensiero scientifico sia quello filosofico, rinuncino ad attribuire al pensiero deduttivo quelle pretese di assolutezza che nella storia della filosofia molte teorie razionaliste hanno preteso di attribuirgli. Una pretesa che, più

recentemente ha trovato un'altra espressione, distinta, ma equivalente nelle asserzioni pretestuose dello scientismo moderno.

I sistemi logici come sistemi «aperti» e non «chiusi»(formali e/o assiomatici). Analogia coi sistemi dinamici «aperti», stabili fuori dall'equilibrio (strutture dissipative)

Insomma, non solo i linguaggi formali hanno una consistenza relativa e mai assoluta, devono essere cioè «sintatticamente aperti», ma devono essere anche «semanticamente aperti» ad altri linguaggi e forme di linguaggio. Ultimamente, proprio C. Cellucci, nella conclusione del suo più volte citato testo di sintesi sulla situazione dei fondamenti della logica alla fine del XX secolo (Cellucci 1998, pp. 309ss.), ha ribadito che l'unico futuro per la matematica e la logica è quello di rinunciare al mito dei sistemi formali «chiusi» quali appunto i sistemi assiomatici e tornare a lavorare su sistemi logici *aperti* in analogia ai sistemi fisici *aperti* (strutture dissipative) oggetto della teoria della complessità (Cfr. § 2.6, pp.142ss.). Come i sistemi complessi sono sistemi fisici aperti (dissipativi) capaci di *generare informazione*, sistemi in cui l'informazione non è tutta nelle condizioni iniziali, così i sistemi logici del futuro devono essere sistemi logici *aperti*. Sistemi, cioè, profondamente differenti dai sistemi logici assiomatici in cui tutta l'informazione è considerata essere negli assiomi di partenza immodificabili. Un'assunzione, questa, da Cellucci considerata falsa, almeno per quanto riguarda l'effettiva pratica matematica.

Inadeguatezza dei sistemi formali «chiusi» per le scienze matematiche

Tutto questo per Cellucci — e per noi con lui, che andiamo affermando le stesse cose da anni — è diretta conseguenza dei teoremi di Gödel. Infatti, la scoperta dell'essenziale incompletezza dei sistemi formali (primo teorema di Gödel) ha come conseguenza che *i sistemi formali sono inadeguati per la matematica* (e per le scienze che ne fanno uso) perché, citando Isaacson,

> la scelta di ogni particolare sistema formale dev'essere provvisoria *e soggetta alla necessità matematica* di andare alla fine al di là di essa (Cellucci 1998, 323).

Tale visione della matematica, invero, incontra ancora diverse resistenze fra i matematici che preferiscono, con H. B. Curry, affermare che i teoremi di Gödel implicano soltanto per la matematica che essa non può essere espressa in un unico sistema formale, ma in molteplici sistemi formali.

Relazione con le conseguenze dell'incompletezza

Ma, come ben sintetizza Cellucci, la lettura di Curry delle implicazioni del primo teorema di Gödel è inammissibile perché trascura le seguenti conseguenze di tale teorema, e cioè (Cellucci 1998, 323-6):

- *Lo sviluppo della matematica non può consistere nel dimostrare teoremi di un dato sistema formale*, visto che, comunque, esso conterrà sempre proposizioni indecidibili, vere, ma non dimostrabili in esso.

- *Lo sviluppo della matematica non può consistere nella costruzione di una successione di sistemi formali sempre più completi*, costruiti ponendo come assioma(i) nel successivo quella (o quelle) proposizione(i) che era(no) risultata(e) indecidibile(i) nel precedente. Infatti il problema se tale successione di sistemi sia a sua volta completa, implica una risposta solo parzialmente affermativa per formule generiche del tipo $\forall x A(x)$, dove $A(x)$ esprime una proprietà decidibile, anche se a patto di non poter decidere algoritmicamente di tale formula, mentre la risposta è assolutamente negativa per formule specifiche — indispensabili per risolvere problemi — del tipo: $\forall x \exists y \, A(x, y)$, dove $A(x,y)$ esprime proprietà vere, ma indecidibili nel sistema.

- *Lo sviluppo della matematica non può consistere nella costruzione di una successione di sistemi formali scelti in maniera effettiva*, ovvero mediante inferenze non necessariamente deduttive, ma anche induttive. È infatti dimostrato che anche per una siffatta successione, tipica delle logiche cosiddette «non-monotone» si può dimostrare un teorema del tutto analogo al primo teorema di Gödel.

- *Lo sviluppo della matematica non può consistere in un unico sistema formale, ma in più sistemi logici capaci di interagire fra loro e che non possono essere sistemi formali.* Dovendo infatti ciascuno di essi ottenere informazione «dal di fuori» per superare le proprie inadeguatezze, è chiaro che questi sistemi logici non solo devono essere in grado di comunicare fra loro, ma nessuno di essi per questo loro essenziale carattere di «apertura» può essere un sistema formale. Questo punto, fondamentale, è reso ancor più chiaro dalla conseguenza seguente:

Lo sviluppo della matematica richiede sistemi «aperti» in cui poter introdurre ad ogni passo nuovi assiomi

- Le comunicazioni fra i sistemi logici che costituiscono quest'ambiente distribuito non possono essere né algoritmiche, né deterministiche. Non possono essere deterministiche, guidate da un'unica legge formale, perché altrimenti il tutto si ridurrebbe ad un unico sistema formale. D'altra parte, il non–determinismo richiesto dal risultato di Gödel non è quello legato alla semplice scelta non–determinista di quale regola formale applicare di quelle date, né di dove applicarla rispetto ad un insieme di alternative comunque date. Inoltre, tali scelte non possono essere neanche algoritmiche perché ciò porterebbe di nuovo ad un unico sistema formale. Insomma — e questo è il punto fondamentale —, il non–determinismo richiesto dal risultato di Gödel è quello di poter introdurre ad ogni passo nuovi assiomi in maniera non algoritmica (Cellucci 1998, 326).

I sistemi logici «aperti» non sono sistemi formali perché richiedono l'introduzione di nuovi assiomi

È chiaro allora perché sistemi logici siffatti non possono essere sistemi formali: nessun sistema formale o sistema assiomatico ammette che possano essere introdotti *nuovi assiomi* in esso. Viceversa, è proprio l'introduzione di «nuovi assiomi» in corso d'opera ciò che caratterizza il concetto di sistema logico «aperto». È chiaro inoltre che l'introduzione di nuovi assiomi *non può essere arbitraria,* ma d'altra parte è altrettanto chiaro che il metodo formale non è l'unico metodo della matematica come vuole Curry. Infatti, la terza conseguenza del teorema di Gödel esclude che la scelta dei nuovi assiomi possa essere una procedura effettiva che definisce una successione ordinata di sistemi formali. D'altra parte la quinta conseguenza esclude che le relazioni fra i vari sistemi possano essere di tipo deterministico e/o algoritmico.

Sistemi logici «aperti» nascono dall'integrazione fra metodo analitico e assiomatico nello stesso sistema

Resta dunque una sola possibilità: che il metodo formale non sia l'unico metodo della matematica (e della logica). In tal caso, introduzione di nuovi assiomi sarà legata ad uno specifico *metodo logico*: il *metodo analitico.* Tale introduzione, cioè, non avviene *arbitrariamente* come per i neo–positivisti e come per i popperiani e post–popperiani: lo vedremo nel prossimo capitolo. In questo senso, i sistemi logici non sono più limitati all'uso del puro *metodo assiomatico* ma includeranno in essi, come ingrediente fondamentale, per l'introduzione di nuovi assiomi, il *metodo analitico* tipico della logica classica pre–moderna e le sue procedure inferenziali caratteristiche (induzione, abduzione, astrazione, analogia) (Cellucci 1998, 348ss.). In tal modo l'inferenza logico–matematica, non essendo puramente deduttiva, diventa *ampliativa* della conoscenza, come l'esperienza matematica testimonia. Dimostrare un nuovo teorema o trovare un nuovo modo per dimostrare un teorema, almeno psicologicamente, aumenta l'informazione, sebbene dal punto di vista formalistico della logica, ovvero nei sistemi assiomatici, questo non è assolutamente vero. Nel caso dei sistemi logici «aperti», invece,

> l'inferenza non serve soltanto a trovare conseguenze logiche da assiomi dati, *ma serve a trovare le ipotesi più adeguate per risolvere un problema.* Ciò spiega perché, in base ad essa, trovare una nuova dimostrazione produce nuova informazione: trovarla significa trovare nuove ipotesi che non sono contenute già implicitamente nella conclusione e quindi stabiliscono nuove connessioni tra il problema e il mondo esterno (Cellucci 1998, 332. Corsivi miei).

I sistemi aperti caratterizzati da evolutività, plasticità, modularità

Le dimostrazioni in siffatti sistemi logici aperti, *analitico–deduttivi*, saranno così caratterizzate da un alto grado di *evolutività* — si procede per aggiustamenti progressivi —, *plasticità* — non si procede da principi fissi, ma le ipotesi vengono trovate via via —, *modularità* — dove ogni modulo svolge un compito particolare per la soluzione di una parte del problema, anche se tale compito può mutare in relazione con le altre parti del

sistema logico e l'ambiente in cui la dimostrazione evolve. Chiunque, può constatare che tale nozione di sistema logico fotografa molto meglio di altre lo sviluppo della scienza, senza cadere nella palude del relativismo e del «debolismo».

Viceversa è proprio in nome del *rigore* dimostrativo, dell'*efficienza* e della *fecondità* del sapere scientifico che siamo invitati a questo radicale «cambio di paradigma», nel senso di Th. Kuhn (Cfr. § 4.2.2.4, pp. 253ss.). Voler insistere sull'esclusività del formalismo, sulla tirannia del metodo assiomatico, vorrebbe dire infatti condannare la matematica, la logica e l'intera scienza *teorica* — *dimostrativa* per essenza — alla sterilità e all'inutilità. E altresì vorrebbe dire condannare anche la cultura dell'immediato futuro, oltre quella del presente, che invece usano *applicativamente* la scienza in maniera massiccia, all'irrazionalismo e al «pensiero debole». Il nemico da battere oggi, nella scienza come nella teologia, nella matematica come nella fisica, è la presunta *arbitrarietà* nella scelta degli assiomi che rende tutte le ipotesi equivalenti.

Riscoprire invece il *metodo analitico*, come insieme di regole logiche per la scoperta di nuovi assiomi, contestualmente *adatti*, «adeguati» agli specifici problemi da risolvere, vuol dire restituire, con equilibrio, alla ragione il suo giusto posto nella scoperta e nella costruzione di un reale davvero «a misura d'uomo», perché innanzitutto a misura dell'*essere* delle cose. Sarà questo l'oggetto dei prossimi tre capitoli dedicati all'esame delle problematiche *teoretiche* emergenti della filosofia della natura e della scienza odierne.

Continuità dei sistemi logici aperti col paradigma tommasiano dell'*adaequatio*

In conclusione, non può esistere una teoria *assolutamente* consistente e vera, ma non può esistere neanche una teoria con pretesa di *onnicomprensività* in nessun campo del sapere razionale, scientifico o filosofico, degno di questo nome. Se cerchiamo la coerenza e la verità dobbiamo dare al sapere scientifico del futuro quella stessa *dinamicità* che ha la realtà. E se vogliamo motivatamente sperare che tale sapere ci aiuti a comprendere *qualcosa* del reale, dobbiamo rinunciare alla pretesa di comprendere *tutto*.

Per questo il paradigma tommasiano della verità come *ininterrotta adeguazione al reale degli assiomi dei sistemi formali* appare molto più «post-moderno» del paradigma cartesiano della verità come statica *evidenza* di assiomi immutabili. Un paradigma che ci ha accompagnato negli ultimi quattro secoli. Insomma, proprio perché solo sistemi logici aperti possono essere *veri*, tutte le teorie *vere*, dal momento che non sono fra loro *tautologiche* (non dicono cioè la stessa cosa), saranno *parzialmente e non assolutamente vere*. Parteciperanno cioè dell'unica *verità assoluta* che non si identificherà con alcuna teoria particolare e risulterà in qualche modo *indicibile*. Ecco come Tommaso giustifica la sua negazione che possa esistere,

almeno per la conoscenza umana, un'*unica verità assoluta* che non sia quella divina, non certo a misura d'uomo e delle sue capacità.

> La verità che è nell'intelletto divino è una soltanto, dalla quale derivano nell'intelletto umano molteplici verità come da un unico volto derivano molteplici sue immagini in uno specchio. (...) Le verità che sono nelle cose sono invece molteplici, quanto le loro entità. (...) Dal che deriva che la verità di cui parla Anselmo è quella unica perché misura di tutte le cose vere (...). La verità invece che è nell'intelletto umano o che è nelle cose, non si rapporta alle cose come una misura estrinseca ad esse e comune a tutti gli oggetti da essa misurati, ma si rapporta o come il misurato rispetto alla sua misura — come è della verità che è nell'intelletto umano che così *è necessario che sia variata secondo la varietà delle cose (oportet eam variari secundum varietatem rerum)* — oppure si rapporta come una misura intrinseca, come accade alla verità che è nelle cose stesse. Ed anche queste misure conviene che *si moltiplichino secondo la molteplicità dei misurati*, allo stesso modo di com'è necessario che corpi diversi abbiano diverse misure dimensionali (due corpi che avessero in tutto esattamente le stesse misure, sarebbero lo stesso corpo, *N.d.R.*) (Tommaso d'Aq., *In de Ver.* I, 4c e ad 1um).

Un esempio concreto di sistema logico «aperto» pubblicato da Perrone nel 1996

Non è dunque casuale che, già due anni prima che Cellucci pubblicasse questo suo bilancio sulla logica e sulla matematica del futuro, fosse nato proprio dall'ambito dell'applicazione dei principi della logica e dell'epistemologia tomista ai fondamenti della logica e della matematica (Basti & Perrone 1996) e, applicativamente, allo studio dei sistemi complessi (caos deterministico), una proposta di *sistema matematico aperto* che possedeva tutti i requisiti richiesti da Cellucci.

Critica del razionalismo parmenideo in metafisica

Questa osservazione del rapporto fra *sistema logico aperto* e teoria della verità come *adaequatio* ha un ulteriore riflesso metafisico. Ogni filosofo infatti sa come la prima formulazione di un principio formalista di esistenza non è stata di Hilbert (Cfr. sopra, p. 190), ma risale addirittura a Parmenide che per primo assegnò un valore ontologico al p.d.n.c. facendone un criterio necessario e sufficiente di *esistenza* degli oggetti denotati da enunciati non–contraddittori (Cfr. § 5.1.4, pp. 310ss.). In altri termini, per Parmenide, come per ogni metafisico formalista, da Hegel ad Hilbert, fino ai giorni nostri a Emanuele Severino, la *non–impossibilità* implica la *necessità,* non solo nell'ordine logico, ma anche in quello ontologico. Viceversa, punto di forza di un approccio non–parmenideo all'essere quale quello di ogni teoria che ammetta un'irriducibile *analogicità* della nozione di «essere», è proprio il principio aristotelico che ogni dimostrazione di *non–impossibilità* non implica affatto la *necessità* né dal punto di vista logico né dal punto di vista ontologico. Ontologicamente, la non–contraddittorietà di un enunciato implica la sola *potenzialità ad esistere* — qualcosa di profondamente diverso dalla semplice possibilità logica, an-

che nel senso post–gödeliano di scelta non-determinista fra alternative date — del relativo ente denotato dall'enunciato stesso.

L'alternativa non è quella solita fra realismo platonico e nominalismo nihilista

Se un'universalità dei linguaggi fondata sull'esistenza di un unico linguaggio formale cui ultimamente ridurre ogni altro, è il mito scientista ed illuminista della modernità cui occorre rinunciare per sempre, l'alternativa metafisica non è la solita fra realismo e nominalismo. L'alternativa insomma non è quella fra un fideismo platonico *a la Gödel* sull'esistenza dell'oggetto matematico, da una parte, e l'arbitrarietà non meno fideista del *convenzionalismo* carnapiano in logica e/o del *nihilismo* nietzschiano, dall'altra (Cfr. § 5.6.1, pp. 381ss.).

Necessità di recuperare in metalogica la chiave della metafisica tomista: la distinzione essenza-essere

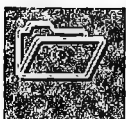
La distinzione reale ed insieme la reciproca determinazione «essenza»–«essere» nel costituire l'entità e l'esistenza di ogni ente, che costituisce il nucleo della dottrina tomista dell'essere, tanto logico che naturale, unita al carattere *solo contingente* che la non contraddittorietà garantisce all'esistenza del *referente**, già affermata da Aristotele, consente a Tommaso di indicare una via originale per sfuggire al duplice suddetto fideismo dei realisti *versus* i nominalisti. Ma su questo torneremo nei prossimi tre capitoli, dedicati ai rapporti fra metafisica, metalogica e scienza.

## 3.2 Riflessione filosofica sulla scienza

L'affermarsi della filosofia della scienza nel nostro secolo

È in tale contesto di crisi e revisione dei fondamenti del pensiero scientifico moderno che è andata sempre più delineandosi nel XX secolo una nuova disciplina di riflessione filosofica, la *filosofia della scienza* che, come giustamente è stato notato

> anche per il fatto di essere di nascita piuttosto recente rispetto al restante quadro del sapere filosofico, non risponde ad una definizione univoca, in quanto vi sono di fatto diversi modi di intendere che cosa essa sia a seconda dei diversi autori che se ne occupano (Strumia 1992, 9).

Il medesimo Autore cita molto appropriatamente un brano della prefazione del monumentale e prezioso lavoro di E. Nagel per fornire una prima collocazione storico–culturale di tale disciplina nell'ambito del sapere, non solo moderno. Riportiamo così volentieri anche noi questo brano, sebbene con qualche significativo rigo in più di quelli scelti dal collega ed amico Strumia:

> Le riflessioni sulla natura dell'indagine scientifica, e sul suo significato per la vita umana risale ai primordi della scienza teoretica nel mondo greco; e sono poche le figure di rilievo nella storia della filosofia occidentale che non si sono profondamente impegnate a riflettere sui problemi suscitati dalle scienze del loro tempo.

Di conseguenza, per quanto il nome «filosofia della scienza», per una speciale branca di studio, sia relativamente recente, il nome designa indagini che proseguono senza soluzione di continuità quelle che sono state compiute per secoli e catalogate sotto le distinzioni tradizionali della filosofia quali la «logica», «teoria della conoscenza», «metafisica», «filosofia morale e sociale». Inoltre, malgrado l'impressione talora suscitata dal frequente ricorrere del termine in titoli dati a libri, corsi di studio e società di cultura – l'impressione cioè che esso denoti una disciplina chiaramente delimitata che tratta un gruppo di questioni strettamente connesse – la filosofia della scienza come viene di solito coltivata non è un settore di analisi ben delimitato. Al contrario, coloro che si dedicano a tale settore usano spesso metodi e perseguono fini fortemente divergenti; e le discussioni comunemente classificate come appartenenti al settore in questione spaziano nel loro complesso sopra la maggior parte di quell'insieme eterogeneo di problemi che ha costituito l'ambito tradizionale della filosofia (Nagel 1961, 3s.).

### 3.2.1 Nascita della filosofia della scienza

Due funzioni della filosofia della scienza nella tardo - modernità

Come si vede, la centralità che è andata via via assumendo la filosofia della scienza nella riflessione filosofica contemporanea ubbidisce a due generi di istanze:

- La necessità di approfondire tutta una serie di problemi logici ed epistemologici legati allo sviluppo contemporaneo delle scienze matematiche e naturali, conseguenti alla rivoluzione scientifica che è avvenuta nella seconda metà del secolo scorso e in tutto l'attuale e che può dirsi tutt'altro che conclusa.

- La necessità di trovare delle risposte a tutta una serie di problemi teoretici, ma anche morali, culturali e sociali che l'attuale sviluppo della scienza come fatto culturale emergente della modernità impone al pensiero ed alla coscienza dell'uomo contemporaneo.

L'equivoco fra filosofia della scienza e filosofia della natura

Si è cercato cioè, mediante una riflessione filosofica sulla scienza, di trovare una risposta a tutta una serie di problemi teoretici, quali, p.es., l'origine dell'universo; l'origine e la specificità degli organismi viventi; l'origine e la specificità della vita umana; la natura delle funzioni psichiche superiori (intelligenza e libertà) nell'uomo; la relazione fra determinismo o indeterminismo causale nell'ordine fisico e libertà nell'ordine etico, etc. che potessero fornire una base teoretica alla discussione di tutte le innumerevoli e ineludibili questioni morali, culturali, politiche e religiose connesse alle problematiche dello sviluppo della scienza e della tecnologia all'interno della società moderna.

Si pensi, per fare qualche esempio, a tutte le questioni morali — e dunque anche politiche e religiose — legate allo sviluppo della genetica della sua applicazione tecnologica che va sotto il nome d'*ingegneria genetica*. Oppure si pensi a tutte le questioni legate all'*ecologia* e quindi alla regolazione dello sviluppo tecnologico. Oppure si pensi al problema della *relazione mente - corpo* negli studi neuropsicologici, e le connesse problematiche morali, ma anche industriali e sociali legate all'interazione uomo–macchina, allo sviluppo delle telecomunicazioni, etc..

### 3.2.2 Rinascita della filosofia della natura

Funzione vicaria della filosofia della scienza verso la filosofia della natura e suo limite

In questo senso, alla filosofia della scienza viene fatta svolgere a tutt'oggi una *funzione vicaria* alla carenza di una riflessione metafisica sull'ente naturale e sul suo studio concettualmente, e quindi formalmente e linguisticamente attrezzata per confrontarsi con le scienze moderne. Una riflessione metafisica sull'ente fisico inteso nelle sue diverse tipologie, inorganiche e organiche, animali ed umane, e nelle sue relazioni, sia con il resto del cosmo cui appartiene, sia con il conoscere e l'agire dell'uomo, con il suo benessere e il suo sviluppo. Egli infatti è parte del mondo fisico eppure in qualche modo lo trascende, come lo dimostrano proprio le sue capacità intellettuali — quelle scientifiche innanzitutto — e morali di dominio e di controllo sul resto della natura. In una parola, viene fatta oggi svolgere alla riflessione filosofica sulla scienza una funzione che di per sé apparterebbe alla metafisica dell'ente fisico e cioè alla *filosofia della natura*.

Se questa funzione vicaria è di per sé storicamente giustificata dall'inevitabilità di certe problematiche che la scienza pone e dalla colpevole assenza di una riflessione metafisica adeguata ai metodi, ai formalismi e ai risultati delle scienze moderne, d'altra parte essa cela gravi rischi. L'assenza di una chiara definizione dei limiti e dei metodi della filosofia della scienza quando, da disciplina *epistemologica* e *metalogica* che ha per oggetto le *scienze*, si trasformasse in disciplina *ontologica* e *metafisica* che ha per oggetto gli *enti* studiati dalle scienze, crea generalmente delle pericolose confusioni, tanto più gravi quanto più sono delicati e complessi gli argomenti trattati.

La mancanza di un metodo universalmente accettato di *esposizione* ed eventualmente di *dimostrazione* dei risultati dell'indagine metafisica e filosofica in generale, già autorevolmente denunciata da E. Husserl nel 1911 nel suo famoso saggio, *La filosofia come scienza rigorosa* (Husserl 1911), espone la cultura contemporanea a gravi rischi. Rischi tanto più gravi quando riguardano il campo proprio della filosofia della natura. La riflessione metafisica, cioè, sull'ente naturale (umano e sub–umano) e sui limiti e le potenzialità del suo studio scientifico e della sua manipolazione

tecnologica. Senza un metodo d'indagine e di dimostrazione e senza un linguaggio rigoroso universalmente accettato come quello scientifico anche se distinto da esso, si corre infatti continuamente il rischio di contrabbandare le personali opinioni filosofiche dei diversi autori nell'interpretare dati scientifici, per risultati incontrovertibili che derivano dalla ricerca scientifica medesima.

Senza un'adeguata filosofia della natura, rischio di strumentalizzazione ideologica dei risultati della scienza

In tal modo, innanzi tutto si attenta alla serietà e al rigore della ricerca scientifica medesima che mai si sentirebbe autorizzata a fare certe estrapolazioni. Secondariamente, e molto più gravemente, simili speculazioni diventano inconsapevole e talvolta consapevole pretesto per vere e proprie operazioni ideologiche di gruppi di potere economico e/o politico. Esiste infatti un comprensibile, ma non giustificabile interesse ad usare falsamente il prestigio della scienza per inculcare o rimuovere nell'opinione pubblica determinate convinzioni filosofiche morali e religiose. Un interesse che ha ben poco a vedere con la scienza e con l'etica e il rigore intellettuali della sua ricerca.

Di qui la rinascita nel secolo XX della filosofia della natura

Non meraviglia dunque che, parallelamente alla *filosofia della scienza*, all'indagine filosofica, cioè, sui *metodi* delle scienze naturali e logico–matematiche, sia rinata nella cultura del XX secolo l'esigenza di una vera e propria *filosofia della natura*. Di una riflessione sistematica, cioè, sull'*ontologia* soggiacente ai concetti delle scienze matematiche e naturali moderne, non confusa con la riflessione metodologica tipica della filosofia della scienza (Cfr. l'approfondimento di queste nozioni in § 4.1, pp.225ss.). Una necessità imposta dalle rivoluzioni delle scienze fisiche e matematiche negli ultimi due secoli sui quali ci siamo soffermati a lungo in questo capitolo.

### 3.2.2.1 Pierre Duhem

L'inizio della riflessione filosofico–naturale del '900 nella polemica fra Whitehead e Duhem

Colui che ha dato il via a questa ripresa dell'esame di tematiche ontologiche, legate alle rivoluzioni scientifiche del XIX secolo e degli inizi del XX secolo, è stato uno dei principali protagonisti di queste rivoluzioni, almeno dal versante delle scienze logico-matematiche, Alfred. North Whitehead (1861-1947), autore con B. Russell della «bibbia» della logica matematica moderna, i *Principia Mathematica* (1910-1913) che abbiamo già avuto modo più volte di citare. In un famoso corso di lezioni tenuto nel 1919 al Trinity College di Londra e raccolte poi l'anno dopo in un libro dal titolo *The concept of Nature* (Whitehead 1920), Whitehead rivendica la necessità di un recupero dell'approccio ontologico nella riflessione sui risultati della «nuova fisica», in particolare della teoria della relatività. Tale posizione era in aperta polemica col fenomenismo anti–metafisico di stampo positivista allora imperante nella riflessione filosofica sulle

scienze fisiche, che si rifaceva al magistero di Ernst Mach (1838-1916), in seguito ribadito, fra gli altri, dal famoso testo di Pierre Duhem (1861-1916): *La teoria fisica: il suo oggetto e la sua struttura* del 1914 (Duhem 1914).

Il fenomenismo di Duhem

In questo suo libro il fisico e filosofo francese ribadisce le posizioni fenomeniste di un Mach nell'interpretare i risultati della scienza fisica. Esse sono difese, però, dal punto di vista non di un positivista, ma di un cattolico praticante, fervente difensore del valore della metafisica. Solo che per lui la metafisica non doveva avere una base naturalista nella fisica, ma una fondazione essenzialmente religiosa. Da questa sua posizione — una fisica puramente fenomenica che è manifestazione dell'incapacità di questa disciplina di penetrare il reale, completamente separata dalla metafisica su basi puramente etico–religiose — che fece e fa tutt'ora scuola in larghi strati della cultura cattolica contemporanea, egli rivendica un valore puramente *pragmatico* alla scienza fisica. Essa cioè, secondo Duhem, va giudicata non in termini di verità/falsità, come se le sue teorie *rispecchiassero* in qualche modo il reale e soprattutto ne *spiegassero* gli eventi, ma secondo criteri *utilitaristico–estetici* di semplicità ed economicità formale.

> *Una teoria fisica non è una spiegazione.* È un sistema di proposizioni matematiche, dedotte da un ristretto numero di principi che hanno lo scopo di rappresentare nel modo più semplice, completo ed esatto possibile un insieme di leggi sperimentali (Duhem 1978, 24s.Corsivo mio).

### 3.2.2.2 Alfred N. Whitehead

Contro il fenomenismo si schiera Whitehead per un recupero dell'ontologia

In tale contesto culturale di un fenomenismo anti–metafisico imperante, assume così un particolare rilievo la posizione di Whitehead che rivendica invece l'essenzialità per la stessa filosofia della scienza, intesa come riflessione critica, logico–epistemologica, sull'insieme delle conoscenze scientifiche, di un'adeguata, moderna *filosofia della natura,* ovvero di un'adeguata ontologia dell'ente naturale. Così nella prefazione del suo libro su *Il concetto di natura,* non esita ad affermare che scopo di esso

> è di gettare le basi di una *filosofia della natura*: presupposto necessario per rendere possibile una riorganizzazione della fisica speculativa (Whitehead 1920, ix).

La definizione anti–dualista di «natura» in Whitehead

Per la realizzazione di questo scopo, diviene essenziale una definizione del concetto di *natura,* che si ponga al di qua di quelli che sono i due errori fondamentali delle filosofie della natura del passato, tanto classiche che moderne. Secondo Whitehead tali errori si possono riassumere in due distinti *dualismi*:

- *Il dualismo fra materia e spirito* che risale a Platone (Cfr. § 5.3.1, pp.314ss.), ma nella distinzione fra enti materiali ed enti di pensiero, attraverso Aristotele e la filosofia scolastica medievale (Cfr. § 5.4.1, pp. 323), dopo la rivoluzione galileiana nelle scienze della natura, giunge fino alla modernità nel dualismo della filosofia della natura cartesiana di *res extensa* e *res cogitans*.

- *Il dualismo fra sostanze e accidenti*, fra enti necessari e contingenti. Tale dualismo, sempre risalente a Platone, ma formalizzato da Aristotele, attraverso la filosofia scolastica medievale, dopo la rivoluzione galileiana, giunge fino alla modernità nella filosofia della natura di Baruch Spinoza (1632-1677).

La metafisica spinoziana come vera metafisica della modernità

La nozione di «sostanza» nella filosofia della natura spinoziana è profondamente diversa da quella nella filosofia della natura aristotelica, di cui ci occuperemo nel Capitolo Quinto. Conviene perciò accennare brevemente ai principi–guida della filosofia della natura spinoziana perché lo spinozismo costituisce in qualche modo «la» metafisica della modernità, soggiacente a tutti i grandi sistemi metafisici (e ideologici) della modernità, dall'hegelismo, al materialismo storico marxiano–engelsiano.

La filosofia della natura spinoziana: dall'unicità galielaia delle leggi fisiche all'unicità della sostanza o «natura» in metafisica

La metafisica naturalista spinoziana — sviluppata nell'opera sua principale l'*Ethica more geometrico demonstrata* pubblicata postuma nel 1678 —, a differenza della filosofia della natura aristotelica, non parla di molteplici «sostanze», ciascuna corrispondente un corpo fisico, semplice o composto, e ciascuna con un suo insieme di «accidenti» o «attributi» caratteristici, così che le varie sostanze o corpi materiali risultino distinti secondo molteplici specie. Partendo dall'idea galileiana dell'*unicità* delle leggi fisiche (meccaniche) per tutti i corpi, Spinoza parlerà invece di un'unica *natura* o *sostanza*, identificata con il determinismo geometrico delle sue leggi, riscoperto da Galilei.

I singoli enti sono così ridotti ad accidenti dell'unica sostanza

Rispetto ad essa, i singoli corpi fisici non sono «sostanze» con esistenza autonoma, per quanto limitata, come per Aristotele. I corpi fisici sono per Spinoza *semplici modalità, semplici manifestazioni*, secondo uno o più *attributi* — fra cui i due più noti all'uomo sono l'*estensione* e il *pensiero* — dell'unica sostanza/natura. Ognuno di questi enti–accidenti *finiti* ha un'esistenza transeunte, *contingente*, rispetto alla *necessità*, e dunque all'eternità e all'immutabilità, dell'unica sostanza materiale o «natura», da cui ogni ente proviene e a cui ritorna al termine della propria parabola esistenziale, come un'onda nel mare.

Carattere attualmente infinito della natura/sostanza spinoziana, contenente in sé l'universo degli enti fisici contingenti (immanentismo panteista)

Una sostanza unica che è allora *attualmente infinita*, come il «Dio» della teologia classica. Con un'unica, essenziale differenza — che costò all'ebreo Spinoza la cacciata con ignominia dalla sinagoga è la definizione di «primo ateo teoretico della modernità». Questo «dio o natura» (*deus sive natura*), fondamento di tutte le leggi deterministiche della fisica e della matematica, è *immanente* non *trascendente* il mondo, secondo i principi di un essenziale *panteismo* teologico (dio è l'universo e l'universo è dio), un «dio» con la minuscola, vista la sua immanenza. Tutti i sistemi metafisici atei moderni, da quello hegeliano a quello di Marx–Engels che per settant'anni del XX secolo ha imperato nei paesi del «socialismo reale», sono semplici variazioni sul tema di uno spinozismo di fondo nel leggere la natura e la storia.

Whitehead: natura come oggetto indipendente dal soggetto

Per sfuggire a questi dualismi (*materia-spirito, sostanza-accidente e/o necessario-contingente*) Whitehead fornisce una definizione iniziale del concetto di «natura», come *oggetto, termine referenziale dell'atto percettivo.* Siffatto oggetto, contro il fenomenismo allora imperante nella filosofia della fisica, ha per Whitehead *un'esistenza indipendente* dal fatto di venire conosciuto o pensato da un qualche soggetto capace di rappresentazione.

> La natura è ciò che noi osserviamo nella percezione per mezzo dei sensi. In questa sensazione siamo consci di qualcosa che non è pensiero e che riesce estraneo al pensiero. Questa proprietà della natura di essere estranea al pensiero è fondamentale per la scienza naturale. Ciò significa che si può pensare la natura come sistema chiuso, le cui mutue relazioni non esigono che si tenga conto del fatto che sono pensate (Whitehead 1920, 5).

Esplicitazione di tale nozione di natura in «Process and Reality»

Quale sia questa concezione di «natura», che soddisfi alla precedente definizione ed eviti anche i due dualismi che Whitehead intendeva eludere, non si evince chiaramente dai testi contenuti in questo libro. Tale concezione emerge chiaramente da quello che è il punto d'arrivo di tutta la riflessione filosofico–naturale dell'Autore inglese. Questo punto d'arrivo è espresso in forma non sempre chiara, spesso molto involuta per la novità del concetto che si voleva esprimere, in quello che è giustamente definito il «capolavoro filosofico» di Whitehead, *Process and reality*, pubblicato per la prima volta nel 1929 (Whitehead 1957).

La natura è essenzialmente «processo», inteso come realtà ultima, non-sostanziale

In tale complesso e corposo testo, di assai difficile lettura, la nozione di «natura» che emerge è quella di *processo* come *realtà ultima,* non–sostanziale, presupposta ad ogni dualità materia/spirito o sostanza/accidente (necessario/contingente), da cui dipende il molteplice e complesso articolarsi di corpi e relazioni fisiche, di esperienze e relazioni cognitive. Tale articolazione costituisce l'insieme del mondo naturale ed umano nel suo manifestarsi come oggetto, termine referenziale dell'esperienza cosciente dell'uomo.

Fecondità del magistero di Whitehead per evidenziare la necessità di un ripensamento ontologico dei fondamenti della scienza moderna

È difficile negare come questa concezione metafisica della *natura come processo* sia molto più adeguata alle rivoluzioni della scienza post–moderna dei secoli XIX–XX di quanto lo possa essere la concezione spinoziana della *natura come statica necessità* —come surrogato immanentista del fato–divinità dell'antichità pagana — che invece si adattava benissimo al determinismo e al riduzionismo ingenui della scienza moderna dei secoli XVII–XVIII. E va dato atto a Whitehead di aver fatto prendere coscienza allo scienziato moderno che, sia le rivoluzioni concettuali nel metodo assiomatico con l'affermarsi del metodo ipotetico–deduttivo, sia le rivoluzioni concettuali della fisica fondamentale quanto–relativista e della fisica della complessità impongono una profonda revisione del concetto moderno di *natura* che non può più essere quello statico della visione spinoziana.

Il concetto di natura come processo è utile soprattutto per i teorici dei sistemi instabili. Sua vicinanza alla «materia prima» aristotelica

Ma sono soprattutto i teorici dei sistemi instabili a trovare oggi nella concezione di Whitehead la più profonda ispirazione per le loro riflessioni di filosofia naturale. Anche se va dato atto a fisici come Ilya Prigogine (Prigogine & Stengers 1979; Prigogine 1981) e a matematici come René Thom (Thom 1990) che proprio la nozione di instabilità dinamica, che rende le condizioni iniziali di un sistema dinamico *in potenza* a molteplici *stati finali,* ad imporre alla filosofia della natura contemporanea una seria e più approfondita disanima dell'antica ontologia fisica aristotelica dell'*atto* e della *potenza*. Della materia, intesa ontologicamente come sorgente d'indeterminazione, *dynamis* (δύναμις), potenza, a molteplici, impredicibili *forme,* intese come stati finali strutturati o *atti*, *entelechie* (ἐντελέχειαι, letteralmente «termini intrinseci irreversibili») di processi di un comune sostrato materiale instabile, in continuo divenire (Cfr. § 5.1.7).

### 3.2.2.3 Ripresa della filosofia naturale scolastica

Ripresa della filosofia della natura nel contesto della filosofia neo–scolastica del '900

In questa direzione delle implicazioni ontologiche dei sistemi complessi, la filosofia della natura «processuale» di un Whitehead non è l'unica candidata a fornire l'adeguato *background* teoretico. Una convergenza, ormai sottolineata da diversi autori (Arecchi & Arecchi 1990; Basti 1991; 1995; Basti & Perrone 1996; Musso 1996) può trovarsi con l'altro grande filone di filosofia della natura del '900, quello della filosofia neo-scolastica aristotelico–tomista. Non è dunque casuale che sia stato di recente pubblicato un interessante saggio che sottolinea i punti di contatto fra la filosofia dei processi di un Whitehead e la filosofia del divenire tomista (Felt 2001).

Il filone di filosofia della natura neo–scoalstica del XX secolo può annoverare fra le sue fila autori ormai entrati nella storia della filosofia con-

temporanea come un Jacques Maritain (1885-1973) (Maritain 1959; 1977); o grandi conoscitori della filosofia scolastica antica e moderna, ma anche della fisica e delle scienze moderne come Petrus Hoenen s.j. (Hoenen 1956), Roberto Masi (Masi 1960), Jean-Marie Aubert (Aubert 1965), Bernard Van Hagens (1983), Filippo Selvaggi s.j. (Selvaggi 1985), Mariano Artigas, José J. Sanguineti (Artigas & Sanguineti 1989), William A. Wallace (Wallace 1996), Leo Elders (1996) che hanno ridato lustro all'insegnamento della filosofia della natura di ispirazione neo–aristotelica e neo–tomista in molteplici università civili ed ecclesiastiche, al di qua e al di là dell'Oceano nella seconda metà del '900.

È in tale filone che, buon ultimo, intende porsi anche questo nostro lavoro. Sinteticamente, possiamo dire che dopo un periodo di pausa durato oltre vent'anni, dall'inizio degli anni '70 fino alla metà degli anni '90 del XX secolo, la filosofia della natura d'ispirazione neo-scolastica, sta rivivendo in questi ultimi anni nell'opera di diversi autori. Ciò è dovuto essenzialmente all'impulso venuto dai nuovi risultati della teoria della complessità nelle scienze fisiche, dalle sfide della genetica nelle scienze biologiche, e dalle nuove prospettive offerte nelle scienze cognitive dall'approccio informazionale nello studio della mente.

## 3.3 Conclusione: dopo lo scientismo

La necessità di uno sviluppo rigoroso delle due discipline: la filosofia della natura e della scienza

Di quanto finora detto in questa Prima Parte del nostro lavoro, appare evidente la necessità che la *filosofia della natura* e la *filosofia della scienza* vengano oggi rigorosamente sviluppate secondo i propri distinti e solo parzialmente sovrapponibili ambiti di competenza. Delle due più tradizionali filosofie della natura, escludendo cioè il «caso unico» della filosofia della natura di Whitehead, sviluppate nell'ambito del pensiero occidentale moderno e da noi qui sommariamente ricordate — quella che si rifà alla tradizione scolastica, ed in particolare alla tradizione aristotelico–tomista e quella che si rifà allo storicismo della filosofia hegeliana — in questo lavoro svilupperemo essenzialmente la prima, anche perché l'altra, per il suo storicismo idealista anti–naturalistico e anti–matematico si è eliminata da sola. Questo sebbene alcune singole dottrine contenute nella filosofia della natura hegeliana mantengano inalterato il loro interesse, se non altro per la genialità e la profondità di certe intuizioni.

Il caso unico nel panorama italiano della filosofia della natura e della scienza di Ludovico Geymonat

A tale riguardo, come italiano, non si può non ricordare qui, con riconoscenza, almeno un autore che si rifà alla metafisica hegeliana nella sua versione materialista di ispirazione marxista, Ludovico Geymonat (1908-1991). Sebbene egli si riconosca come filosofo della scienza più che della natura, la sua appassionata difesa delle ragioni del *realismo scientifico*, con-

tro l'interpretazione fenomenista del positivismo e del neo–positivismo e, soprattutto, il suo *rigore metodologico* nell'affrontare criticamente le questioni logiche ed epistemologiche più ardue della scienza contemporanea, ne fanno naturalmente un modello anche per chi s'ispira, come noi, a visioni metafisiche molto distanti dalle sue (Geymonat 1977).

La necessità di una formalizzazione della filosofia della natura, in un dialogo a tre tra filosofia della natura, della scienza e scienze matematico–naturali

D'altra parte, è proprio per l'indole intrinsecamente naturalista della metafisica aristotelico–tomista, la filosofia della natura che ad essa si rifà venne in conflitto con la nascente scienza galileiano–newtoniana agli albori della modernità, come già accennato. Essendo oggi venuti meno, però, in pratica, tutti i motivi ideologici di contrapposizione fra le due — lo scientismo illuminista da una parte e l'apologetica tradizionalista dall'altra —, da un dialogo a tre finalmente maturo fra filosofia della natura, filosofia della scienza e scienze matematico–naturali non può che derivarne che un bene per l'uomo della tardo–modernità. Il prezzo da pagare per rendere possibile e davvero proficuo un simile dialogo è quello però di una formalizzazione delle dottrine metafisiche della filosofia della natura e delle dottrine epistemologiche della filosofia della scienza, formalizzazione non nel senso assiomatico statico, ovviamente, ma nel senso dei sistemi logici «aperti», post–gödeliani, appena ricordati (Cfr. § 3.1.5, pp. 197ss.). Solo così queste discipline diverranno per davvero universalmente fruibili come lo sono le dottrine scientifiche moderne, al di là delle «appartenenze» di scuola o delle convinzioni di fede, laica o religiosa che sia, di ciascun autore.

I limiti dei programmi moderni di formalizzazione della filosofia

Si tratta di una formalizzazione perseguibile mediante un duplice sforzo, il primo che riguarda essenzialmente *la logica del linguaggio filosofico*, il secondo che riguarda anche e soprattutto *la logica del linguaggio scientifico* contemporaneo. Ovvero:

- Da una parte, si tratta di restituire un rigore dimostrativo all'indagine filosofica, mediante una rinnovata applicazione di adeguati metodi logici all'indagine metafisica ed epistemologica. Un'applicazione che, pur nella diversità dei contesti scientifici e culturali, sia comparabile al grado di formalizzazione pre–moderna che almeno l'indagine metafisica aveva raggiunto nella grande tradizione scolastica medievale. Sogno questo invano inseguito da tutta la riflessione filosofica moderna da Leibniz ai giorni nostri e che spesso, proprio per i limiti di una formalizzazione logica esclusivamente *estensionale** di derivazione matematica, si è trasformata in programmi di ricerca riduzionisti anti–metafisici. Così è accaduto nel tentativo settecentesco dell'*Encyclopédie* di D'Alembert, o nel programma ottocentesco del positivismo *à la* Comte o in quello più recente del neo–positivismo logico del Circolo di Vienna e dei suoi epigoni contemporanei.

In questo senso di un recupero del rigore dimostrativo della filosofia, la formalizzazione del linguaggio filosofico contemporaneo, va nella direzione di un adeguato sviluppo di un formalismo — anzi di più formalismi logici adeguati al complesso e poliedrico oggetto della filosofia — che non può essere solo quello della logica *estensionale* delle matematiche, ma anche quelli, molteplici, della *logica intensionale** nelle sue diverse articolazioni in sistemi di logica *modale, deontica, epistemica*, etc. (Zalta 1988; Galvan 1990)[76].

- D'altra parte però, l'indole stessa dell'indagine metafisica come ricerca sui fondamenti, richiede che la sua formalizzazione implichi lo sviluppo e l'applicazione ad essa di un moderno *metodo analitico* di ricerca di quelle proposizioni assiomatiche, entro i diversi sistemi, adeguate a («vere per») uno specifico oggetto di studio, all'interno di un delimitato contesto d'indagine, che fungano da «principi» per le susseguenti procedure dimostrative.

La morte scientifica del riduzionismo scientista

Si tratta insomma di inserire la nozione di «sistema aperto» anche nella riflessione metafisica. Complementariamente, l'attuale dibattito sui fondamenti della logica e della matematica — anche sulla spinta ad una più rigorosa formalizzazione proveniente da campi nuovi della ricerca quali la scienza dei sistemi non - lineari, la chimica, la biologia, la cibernetica, le scienze cognitive, l'informatica, le scienze economiche e sociali — richiedono un ampliamento dei formalismi della scienza galileiano–newtoniana.

In particolare, la filosofia della natura e, più in generale, la metafisica da un simile dialogo può ricevere il non piccolo beneficio di esser tratta fuori dal limbo della dimenticanza culturale in cui giace. Da parte loro, la filosofia della scienza e le scienze medesime, in un'epoca come l'attuale di profonda revisione sui fondamenti, non possono che trarre ulteriore beneficio da questo dialogo rinnovato e formalizzato con la grande tra-

[76] La riflessione ontologica è uno dei campi principe di questa indagine filosofica che usa gli strumenti della *filosofia analitica*. Di qui la nascita di una particolare disciplina, l'*ontologia formale*, di crescente intessesse anche per l'informatica, per le molteplici applicazioni che consente del metodo logico ad analisi di discipline che finora usavano il solo linguaggio ordinario (si pensi non solo alla filosofia, ma al diritto, all'etica o alla pratica clinica, etc.). Un linguaggio aperto, con le sue ambiguità, ad un libero gioco delle interpretazioni. Un gioco che, quando usato in discipline quali quelle ricordate da cui dipende la vita, il benessere, la dignità, la sicurezza o addirittura la libertà (si pensi al diritto, per esempio) delle persone, risulta ormai insostenibile nell'ambito di una cultura globale. Cfr. per una completa informazione sempre aggiornata sugli sviluppi dell'ontologia formale, l'ottimo sito web: www.formalontology.it .

dizione della filosofia della natura e della metafisica, senza preclusioni ideologiche di sorta.

## 3.4 Sommario del terzo capitolo

In queste pagine, abbiamo preso in considerazione l'ultimo capitolo finora scritto della rivoluzione sui fondamenti della logica e della matematica. Un capitolo destinato a mutare radicalmente il nostro modo di concepire la scienza e la conoscenza decretando «la morte scientifica dello scientismo» (§ 3.1). Infatti il significato profondo di questi rivolgimenti (Cfr. § 3.1.1) — lungi dal negare l'esistenza di una verità e della possibilità di attingere (parzialmente) ad essa con la conoscenza ed i linguaggi umani — evidenzia, con il rigore di una dimostrazione, l'impossibilità che qualsiasi linguaggio formale di tipo dimostrativo, scientifico, filosofico o altro, pretenda di avere l'esclusiva sulla verità, o peggio la ridicola pretesa di essere non–perfettibile. Davvero «la ricerca non ha fine».

Questo risultato, legato alla dimostrazione dei *teoremi d'incompletezza* di Gödel — che trascende i limiti dell'aritmetica per la quale fu originalmente ottenuto — decretò il fallimento dell'approccio *formalista* di David Hilbert alla teoria dei fondamenti della logica e della matematica (§ 3.1.2). Tale approccio, contro le confusioni fregeane, parte dalla preziosa riscoperta della distinzione della logica scolastica fra *linguaggio e metalinguaggio,* fra *teoria e metateoria.* Essa reintroduce nella logica moderna l'altra, antica distinzione fra *logica minor* e *logica maior,* e, all'interno della *logica maior* fra predicati che hanno per argomento nomi presi in *suppositio formalis* (= che si riferiscono a oggetti extra–linguistici, p.es., «esser rosso» ha come argomento, nomi di cose come «sangue», «fuoco», «sole» etc.) e predicati che hanno per argomento nomi presi in *suppositio materialis* (= che si riferiscono ad oggetti intra–linguistici, ad altre parti del discorso).

Il programma formalista di Hilbert consistette così nella speranza di trovare un metodo per dimostrazioni assolute di non–contraddittorietà delle teorie matematiche. Un metodo non più basato sull'evidenza, ma su metodi finitistici (algoritmici) di decisione, ovvero di enumerazione ricorsiva di tutti i teoremi deducibili da un insieme finito di assiomi. In altre parole, il programma formalista di Hilbert consisteva nella speranza di poter usare l'aritmetica come metalinguaggio di tutte le teorie matematiche formalizzate, inclusa l'aritmetica stessa, così da ottenere dall'interno dell'aritmetica formale una dimostrazione della propria *completezza.*

I due teoremi d'incompletezza di Gödel (§ 3.1.3) sancirono il fallimento di tale programma, dimostrando, il primo, che usando metodi finitistici di decisione necessariamente alcuni enunciati aritmetici veri, anche mol-

to elementari, risultano indecidibili nell'aritmetica formalizzata nell'assiomatizzazione di Peano; mentre il secondo dimostrava che fra gli enunciati indecidibili c'era sicuramente anche quello metalinguistico che affermava la consistenza dell'aritmetica dall'interno dell'aritmetica stessa. I risultati di Gödel che affermavano l'incompletezza dell'aritmetica formalizzata, furono estesi (§ 3.1.3), da Church e Turing a *tutti* i linguaggi formalizzati della scienza (§ 3.1.4.1), e da Tarski al problema di un'analisi formale, non solo della sintassi, ma anche della *semantica* dei sistemi formali ed in particolare della loro *verità* (§ 3.1.4.2).

Il *significato logico ed epistemologico* dei teoremi di limitazione di Gödel, Church, Turing e Tarski è quello di imporre ai sistemi logici e matematici del futuro di essere *sistemi logicamente aperti*, se non vorranno isterilirsi nelle secche della genericità e dell'inutilità applicativa per essersi rifugiati — pur di mantenere la loro «chiusura», l'immutabilità dei loro assiomi — nell'uso di metodi infinitistici di dimostrazione. In tal senso, abbandonato l'antico mito della certezza assoluta della deduzione di contro al probabilismo dell'induzione, l'«apertura» di siffatti sistemi consiste nella loro capacità d'integrare al loro interno *metodi logici d'invenzione/scoperta (metodi analitici)* per la costituzione di assiomi adeguati ai loro oggetti e sempre modificabili, e *metodi formali di prova (metodi assiomatici)* per la costruzione di teorie logicamente, anche se sempre relativamente, consistenti, superando il pregiudizio neo–positivista dell'*arbitrarietà* nella definizione degli assiomi (§ 3.1.5).

Questi profondi rivolgimenti sui fondamenti della scienza moderna hanno indotto nel XX secolo la nascita di una nuova disciplina filosofica: la *filosofia della scienza* e la rinascita della *filosofia della natura* (§ 3.2). Nei suoi inizi la filosofia della scienza ha spesso svolto un ruolo vicario nei confronti della mancanza di un'adeguata filosofia della natura, per cercare di rispondere alle nuove e pressanti questioni, ontologiche ed etiche soprattutto, che lo sviluppo delle scienze pone oggi alla società e alla cultura contemporanee (§ 3.2.1). Contemporaneamente alla filosofia della scienza è andata comunque rinascendo, anche se in modo più sommesso e meno diffuso, legato più all'opera di grandi personalità filosofiche e scientifiche, che ad una vera e propria scuola di pensiero, una nuova forma di *filosofia della natura*, innanzitutto per rispondere all'approccio esclusivamente fenomenista al ruolo e alla funzione cognitiva della scienza moderna che E. Mach, alla fine del XIX secolo, le attribuiva (§ 3.2.2).

Il primo autore cui si deve la rinascita di una riflessione ontologica e metafisica legata alla scienza moderna è P. Duhem. Il suo approccio tuttavia, riservava ancora un ruolo esclusivamente fenomenico e pragmatico alla scienza moderna, sebbene riconoscesse la necessità di un'integrazione fra la scienza e una metafisica che, a differenza di quella scolastica,

per Duhem aveva una base religiosa, se non espressamente teologica, e non nelle scienze naturali (§ 3.2.2.1).

Contro l'impostazione fenomenista di Mach e Duhem, negli anni '30, si delineò il magistero di A. N. Whitehead che, per primo fra i moderni, dopo Galilei, riconobbe un rilevanza *ontologica* e non solo fenomenica alla scienza moderna. In particolare Whitehead riconobbe la necessità, imposta dalla crisi dei fondamenti della matematica e dall'allora nascente meccanica quantistica, di una concezione della natura non più statica, com'era stata nella modernità ed in particolare nella metafisica spinoziana, ma legata alla nozione di *processo* (§ 3.2.2.2).

Una simile impostazione ha evidenti punti di contatto con la filosofia della natura d'ispirazione aristotelica che identificava gli enti naturali come enti capaci di *divenire*. In ogni caso l'unico vero esempio di «scuola di pensiero» nel campo della filosofia della natura del XX secolo la offre la filosofia della natura neo-scolastica. Tale scuola ha annoverato nomi di primo piano — uno per tutti J. Maritain — della filosofia del '900, almeno fino agli inizi degli anni '70 del secolo scorso. Dopo un periodo di pausa durato quasi vent'anni, a partire dalla metà degli anni '80 del secolo XX, la filosofia della natura d'ispirazione neo-scolastica, sta rivivendo nell'opera di diversi autori al di qua e al di là dell'Oceano. Ciò è dovuto essenzialmente all'impulso venuto dai nuovi risultati della teoria della complessità nelle scienze fisiche, dalle sfide della genetica nelle scienze biologiche e dalle nuove prospettive offerte dalle scienze cognitive e dall'approccio informazionale nello studio della mente (§ 3.2.2.3).

In conclusione a questo capitolo (§ 3.3), possiamo dire che la fine dello scientismo, impone che, oltre ad una filosofia della scienza sempre più adeguata ai suoi compiti di indagine critica sui fondamenti logici ed epistemologici della scienza moderna — una vera e propria *meta–scienza,* come qualcuno l'ha definita —, si sviluppi un'adeguata *filosofia della natura.* Una filosofia della natura che, mediante una sempre più rigorosa formalizzazione dei suoi concetti e dei suoi metodi, che integrino i *metodi analitici* d'invenzione e di scoperta con quelli *assiomatici* di dimostrazione, sia in grado di dialogare senza complessi con i formalismi della scienza moderna. In tal modo essa darà un contributo insostituibile alla metafisica del presente e dell'immediato futuro, per trasformarla in un sistema di conoscenze e di linguaggi a sua volta davvero «aperto» all'inesauribilità dell'essere.

## 3.5 Bibliografia del Terzo Capitolo

**Quando le date tra parentesi nella referenza sono diverse da quelle in calce al termine della citazione bibliografica, le prime si riferiscono all'edizione (in lingua) originale dell'opera.*

ARECCHI B., ARECCHI F. T. (1990). *I simboli e la realtà*, Jaca Book, Milano.

ARTIGAS M., SANGUINETI J.J. (1989). *Filosofia della natura*, Le Monnier, Firenze.

AUBERT J. M. (1965). *Cosmologia. Filosofia della natura,* Paideia, Brescia, 1968.

BASTI G. (1991). *Il rapporto mente-corpo nella filosofia e nella scienza,* ESD, Bologna.

— (1995). *Filosofia dell'uomo*, ESD, Bologna.

BASTI G. & PERRONE A. L. (1996). *Le radici forti del pensiero debole: dalla metafisica, alla matematica, al calcolo*, Il Poligrafo e Pontificia Università Lateranense, Padova-Roma

BOCHENSKI J.M. (1956). *La logica formale*, .Voll.I-II, Einaudi, Torino, 1972.

CELLUCCI C. (1998). *Le ragioni della logica,* Roma–Bari: Laterza, 2000².

DUHEM P. (1914). *La teoria fisica,* Il Mulino, Bologna, 1978.

FELT J. W. (2001). *Coming to be. Toward a Thomistic–Whiteheadian Metaphysics of Becoming*, New York U.P., New York.

GALVAN S. (1990). *Logiche intensionali. Sistemi di logica modale, deontica, epistemica,* I.S.U., Università Cattolica del Sacro Cuore, Milano.

GEYMONAT L. (1977). *Scienza e realismo,* Feltrinelli, Milano.

GÖDEL K. (1990). *Collected works, vol. II, Publications 1938-1974,* a cura di S. Feferman *et al.*, Oxford University Press, New York.

HÖNEN P. (1956). *Cosmologia,* Pontificia Universitas Gregoriana, Romae.

HUSSERL E. (1911). *La filosofia come scienza rigorosa,* Laterza, Roma-Bari, 1997.

MARITAIN J. (1959). *I gradi del sapere. Distinguere per unire*, Morcelliana, Brescia, 1981.

— (1977). *La filosofia della natura. Saggio critico,* Morcelliana, Brescia.

MASI R. (1960). *Cosmologia,* Pontificia Universitas Lateranensis, Romae.

MUSSO P. (1997). *Filosofia del caos,* Franco Angeli, Milano.

NAGEL E. (1961). *La struttura della scienza,* Feltrinelli, Milano.

NELSON E. (1997), «Confessioni di un matematico apostata», in *Nuova Civiltà delle Macchine*», **XV(57-60):** 243-248.

POPPER K. R. (1978). *La ricerca non ha fine. Autobiografia intellettuale*, Armando, Roma.

PRIGOGINE I. (1981). *Dall'essere al divenire,* Einaudi, Torino, 1986.
— (1999). *Le leggi del caos,* Laterza, Roma-Bari.

PRIGOGINE I. & STENGERS I. (1979). *La nuova alleanza. Metamorfosi della scienza,* Einaudi, Torino, 1981.

SELVAGGI F. (1985). *Filosofia del mondo. Cosmologia filosofica,* Pontificia Università Gregoriana, Roma.

THOM R. (1990). *Semiophysics: a sketch. Aristotelian physics and catastrophe theory,* Addision–Wesley, Redwood, Ca..

TURING A. M. (1937). «On computable numbers with an application to the Entscheidung problem», *Proceedings of the London Mathematical Society* **42**: 230-265.

VAN HAGENS B. (1983). *Filosofia della natura,* Urbanian University Press, Roma.

WALLACE W. A. (1996). *Modeling of Nature. Philosophy of science and philosophy of nature in synthesis,* Catholic University of America Press, Washington D.C.

WANG H. (1974). *Dalla matematica alla filosofia,* Boringhieri, Milano, 1974[1].

WEBB J.C. (1980). *Mechanism, mentalism and metamathematics. An essay on finitism*, Reidel, Dordrecht.

WHITEHEAD A. N. (1920). *Il concetto della natura,* Einaudi, Torino, 1975
— (1957). *Process and reality. Renewed edition,* D. R. GRIFFIN & D. W. SHERBURNE (EDS.), McMillan Publ. New York-London, 1978.

ZALTA E. (1988). *Intensional logic and the metaphysics of intentionality,* MIT Press, Cambrdige MA.

# PARTE SECONDA

## Filosofia della natura e della scienza: un quadro teoretico della problematica

# 4. Filosofia della natura e filosofia della scienza

*Dalla distinzione fra filosofia della natura e filosofia della scienza, al metodo dimostrativo, ipotetico–deduttivo, della scienza moderna. Le sue origini empiriste nel movimento neo–positivista, il falsificazionismo popperiano e il fallibilismo post–popperiano, i limiti ontologici del pensiero ipotetico–deduttivo e la fondazione realista delle ipotesi attraverso l'integrazione di metodo analitico e metodo ipotetico–deduttivo negli usi applicativi delle scienze.*

## 4.1 Due definizioni

Nei tre precedenti capitoli abbiamo introdotto, seppure in maniera sommaria, il quadro storico–teoretico di riferimento di questo nostro lavoro. Siamo ora in grado di affrontare l'«anello mancante» di tutte queste nostre discussioni introduttive: una definizione di massima della *filosofia della natur*a e della *filosofia della scienza* e delle nozioni ad esse strettamente connesse.

### Definizione 1

**Con il termine «filosofia della natura» si definisce nella nostra accezione quella parte della metafisica che ha per oggetto l'essere (essenza o natura ed esistenza) degli enti del mondo fisico[77], i medesimi enti che sono oggetto di studio, nei loro aspetti fenomenici, delle scienze naturali.**

---

[77] Per semplice informazione del lettore ricordo che anche in anni abbastanza recenti, questa disciplina filosofica veniva definita col termine di *cosmologia*. Questo uso del termine sarebbe oggi profondamente ambiguo perché, con la nascita della meccanica relativi-

Le definizioni di filosofia della natura e di filosofia della scienza

Definiremo in seguito la nozione di «natura» di un ente (Cfr. § 6.2.1, pp. 416ss.), essenziale per rendere completamente intelligibile la definizione di «filosofia della natura» che abbiamo appena dato. Ma le tematiche più propriamente metafisiche saranno affrontate in profondità a partire dal prossimo capitolo.

Affrettiamoci invece a dare subito una definizione almeno provvisoria della nozione di «filosofia della scienza». Dove la necessaria provvisorietà dipende dal fatto che, come già accennato, non esiste affatto una comunanza di vedute fra i filosofi e fra gli scienziati riguardo al senso da dare a tale nozione e soprattutto alla disciplina designata con questo nome L'opzione che noi facciamo è quella che a nostro avviso meglio fotografa il comune denominatore a tutti i vari tentativi di definizione. Ma soprattutto tale opzione è quella che più facilmente consente di dare, almeno in prospettiva, quel rigore formale a questa disciplina di cui lamentavamo l'assenza, sottraendola ai facili pressappochismi con cui spesso oggi viene presentata e discussa.

### Definizione 2

**Con «filosofia della scienza» s'intende lo studio dei fondamenti epistemologici e logici delle diverse scienze matematiche, naturali e umane moderne, nonché delle loro applicazioni tecnologiche.**

Definiremo in seguito gli altri concetti qui impiegati di «epistemologia» e di «scienza naturale» nell'accezione moderna del termine. In ogni caso appare evidente come, posta in questi termini, non siamo ancora di fronte ad una definizione rigorosa di «filosofia della scienza». Il già citato A. Strumia nel suo manuale di filosofia della scienza così la definisce:

> Utilizzeremo l'espressione *filosofia della scienza* o più precisamente *filosofia delle scienze* per indicare una *teoria filosofica* della scienza, una *concezione sistematica* di ciò che la scienza, in generale, o una scienza particolare sia: quali siano i *suoi fondamenti*, il suo *oggetto*, i suoi *metodi* e i suoi *scopi* (Strumia 1992, 10).

D'altra parte, se prendiamo altri manuali anche molto recenti, ci troviamo di fronte a definizioni ancora più generiche, sebbene in continuità con la nostra. Per esempio, il recente testo di L. Elders d'introduzione

stica, è nata una nuova branca della fisica matematica moderna che studia l'origine e l'evoluzione del cosmo e che va appunto sotto il nome di «cosmologia».

all'interpretazione classica tomista della filosofia della natura di Tommaso d'Aquino (Elders 1996), per cercare di spiegare la nozione moderna di filosofia della scienza, si riferisce a uno dei più classici manuali in materia, quello di R. Harré, che ha fatto epoca in questi ultimi venticinque anni (Harré 1972, 23ss.). Elders cerca così di definire la filosofia della scienza come

> studio dei problemi suscitati dalle nuove scienze della natura, come: a) la possibilità di conoscenza della realtà; b) la relazione tra conoscenza ottenuta tramite strumenti e quella della percezione diretta; c) le ipotesi usate, quali la conoscibilità e l'ordine dell'universo, l'applicazione generale delle teorie, il principio di causalità...; d) il significato dei concetti primitivi impiegati nelle diverse discipline (atomo, elettrone, nucleo, campo, corrente, forza radiazione, gene, codice genetico...); e) la portata delle teorie, soprattutto della rappresentazione corpuscolare della realtà (Elders 1996, 17).

Alcuni esempi di uso ideologico della filosofia della scienza

Un'ulteriore precisazione di Elders ci sembra importante sottolineare. Immediatamente dopo averci fornito questa definizione, egli ci offre due esempi caratteristici di quella confusione sistematica fra filosofia della scienza e filosofia della natura che porta a confondere la filosofia della scienza con l'interpretazione dei risultati di una data scienza in base alle personali opinioni dell'autore. Una confusione che nasce precisamente da quella mancanza nella modernità di una filosofia della natura degna del livello raggiunto dalle scienze naturali, di cui discutevamo in precedenza. Il fatto che siano proprio degli scienziati e dei valenti scienziati a cercare di dare una risposta, con le proprie forze filosoficamente limitate, a questa carenza la dice lunga sulla necessità storico–culturale di un adeguato sviluppo di una *meta*fisica dell'ente naturale degna del suo altisonante nome. Il loro disagio di uomini che hanno dato la vita per la scienza a trattare di certe questioni, ed insieme l'ineludibilità di esse sono un po' la cartina al tornasole del disagio di un'intera società: la nostra.

Negazione del principio di causalità

Esempi notevoli di queste confusioni ricordate da Elders e sulle quali torneremo a suo tempo sono, innanzitutto, la negazione da parte di W. Heisenberg della validità del *principio di causalità* nella natura fisica, sulla base di un'interpretazione filosofica soggettivista della relazione matematica di indeterminazione (incertezza) che si incontra inevitabilmente nello studio della natura microfisica (atomica e subatomica)[78]. Più precisa-

[78] Così Heisenberg concludeva il suo fondamentale articolo del 1931: «Poiché tutti gli esperimenti sono sottomessi alle leggi della meccanica quantistica e quindi alle relazioni di indeterminazione, così l'invalidità della legge causale è definitivamente costata dalla meccanica dei quanti» (Heisenberg 1931, 182). Come apparirà chiaro, la scoperta della relazione di indeterminazione può provocare grossi problemi alla fondazione kantiana del principio di causalità. Diverso è invece il discorso con una fondazione diversa (non rappresentazionale come quella kantiana) del principio di causalità.

mente, tale relazione s'incontra negli oggetti studiati nella meccanica quantistica e nelle operazioni di misura su di essi. Si tratta così di una relazione che Heisenberg stesso come scienziato contribuì in maniera decisiva a formulare con chiarezza, reinterpretando sulla sua base i concetti fondamentali della meccanica quantistica medesima (Heisenberg 1955). Torneremo a suo tempo sull'illustrazione filosofica di tale principio.

Il carattere assurdo del cosmo e la sua casualità secondo Weinberg

Un altro esempio notevole di confusione fra convinzioni personali degli scienziati nell'interpretazione filosofica di teorie scientifiche, da una parte, e filosofia della scienza, come studio dei fondamenti delle discipline e delle nozioni scientifiche, dall'altra, si ha in un altro testo che ha fatto epoca in questo campo. Si tratta di un testo scritto dal Premio Nobel per la fisica (1979) S. Weinberg, testo che peraltro, dal punto di vista strettamente scientifico, è considerato a ragione uno dei capolavori della letteratura divulgativa nel campo della cosmologia (Weinberg 1977). Malgrado l'alto livello dell'esposizione, quando nella conclusione del lavoro S. Weinberg tira le somme filosofiche della sua indagine, afferma che l'unica conclusione attendibile che si può trarre dallo studio della cosmologia è quella dell'assurdità senza significato per l'uomo e la sua esistenza dell'immensità del cosmo, come si può ipotizzare in base ai risultati dell'attuale cosmologia. In particolare, appare senza senso per l'esistenza dell'uomo «d'eccessivo» numero di corpi celesti presenti nell'universo. O, addirittura, che sono presenti nei vari universi che esisterebbero simultaneamente, secondo il modello alternativo a quello del «principio antropico» di cui parleremo subito, nell'ambito della costruenda teoria cosmologica quanto–relativista.

Ecco ciò che afferma Weinberg:

> Comunque possano essere risolti tutti questi problemi, e qualunque modello cosmologico possa rivelarsi esatto, la soluzione trovata non potrà darci alcun conforto. Negli esseri umani c'è un'esigenza quasi irresistibile di credere che noi abbiamo un qualche rapporto speciale con l'universo, che la vita umana non sia solo il risultato più o meno curioso di una catena di eventi accidentali risalente fino ai primi tre minuti, che la nostra esistenza fosse già in qualche modo preordinata fin dal principio. Mentre scrivo queste righe mi trovo in un aereo che vola a 9.000 metri di quota nel cielo del Wyoming, diretto da San Francisco a Boston. Sotto di me la terra mi appare dolce e confortevole: qua e là sono sospese soffici nubi, che il sole declinante tinge di rosa; la campagna è attraversata da strade rettilinee che collegano una città all'altra. È molto difficile rendersi conto che tutto ciò è solo una piccola parte di un universo estremamente ostile. Ancora più difficile è rendersi conto che l'universo attuale si è sviluppato a partire da condizioni indicibilmente estranee e che sul suo futuro in-

> combe un'estinzione caratterizzata da un gelo infinito o da un calore intollerabile. Quanto più l'universo ci appare comprensibile, tanto più ci appare senza scopo (Weinberg 1977, 170).

Un passo questo la cui logica dimostrativa francamente ci sfugge. Che gli uomini sentano «un'esigenza quasi irresistibile» a credere di avere «un rapporto speciale con l'universo» è perfettamente comprensibile se si pensa che gli uomini sono parte dell'universo medesimo e — almeno a tutt'oggi — sono quell'unica parte in grado di dare all'universo «coscienza di sé» e delle proprie origini, se mi è concesso usare questa metafora neo–hegeliana. D'altra parte è Weinberg stesso ad ammettere immediatamente dopo tutto questo:

> Ma se non c'è conforto nei risultati della nostra ricerca, c'è almeno qualche consolazione nella ricerca stessa. Gli uomini e le donne non si accontentano di consolarsi con miti di dei e di giganti o di restringere il loro pensiero alle faccende della vita quotidiana. Costruiscono anche telescopi, satelliti e acceleratori, e siedono alla scrivania per ore interminabili nel tentativo di decifrare i dati che raccolgono. Lo sforzo di capire l'universo è tra le pochissime cose che innalzano la vita umana al di sopra del livello di una farsa, conferendole un po' della dignità di una tragedia (Weinberg 1977, 170s.).

Il principio antropico di Barrow e Tipler ed il finalismo in cosmologia

Quanto poi all'affermazione che il nostro modo di essere, la nostra vita umana, sarebbe solo «il risultato più o meno curioso di una catena di eventi accidentali» essa appare del tutto opinabile da molteplici punti di vista. C'è, per esempio, tutta un'altra corrente di interpretazione dei medesimi dati della cosmologia da cui parte Weinberg che arriva alla conclusione esattamente opposta alla sua. I sostenitori in cosmologia del cosiddetto *principio antropico* affermano infatti che senza quella catena di eventi accidentali, altamente improbabili, che si suppone siano avvenuti ai primi istanti dell'universo medesimo, l'evoluzione della materia non ci avrebbe condotto fino all'emergere della vita e della vita umana in particolare, ma la storia dell'universo avrebbe preso tutt'altra strada (Barrow & Tipler 1968).

È come, insomma, se ad ogni punto di biforcazione della sua storia l'universo nel suo sviluppo avesse «scelto» di tutte quelle possibili (ogni impredicibilità implica logicamente una molteplicità di alternative) sempre e solo quella direzione che poteva portarlo fino all'uomo. L'esistenza dell'uomo è dunque ciò che *a parte post*, dalla fine del processo, può dare intelligibilità all'evoluzione del cosmo: ecco in soldoni il nucleo del «principio antropico».

Le teorie cosmologiche che si rifanno al «principio antropico» sono molteplici ed alcune assai poco convincenti dal punto di vista logico. Infatti, laddove si voglia considerare il principio come *esplicativo* dell'evoluzione

cosmica (versione «forte» del principio antropico), esso corre il rischio di esporre le teorie che ne fanno uso ad alcune inconsistenze logiche, equivalenti a quelle del modello neo–platonico di finalismo, in quanto distinto da quello aristotelico e/o tomista (Cfr. *infra* § 6.3.2.3, pp. 452ss.). Viceversa, laddove il «principio antropico» viene preso non come teoria esplicativa, ma piuttosto come un'evidenza da spiegare allora non dà alcun problema di principio, come qualsiasi fisico è in grado di accettare (Hawking 1988, 146)[79].

Il carattere deterministico del cosmo secondo Hawking

Ma non è finita. C'è una terza interpretazione filosofica dei medesimi dati cosmologici di fondo, opposta, ortogonale a queste due, quanto se non di più esse lo siano reciprocamente l'una per l'altra. È quella sostenuta da un fisico - matematico del valore di uno S. W. Hawking che nega la premessa comune da cui le due precedenti teorie sorgono: quella dell'accidentalità, della pura casualità del sorgere e dello svilupparsi dell'universo (o dei diversi universi) a partire dalla «singolarità» del(i) *big–bang(s)* da cui si produrrebbe(ro), fino all'altra del «collasso gravitazionale» cui sembrerebbe(ro) destinato(i).

Afferma correttamente Hawking che, non fornendo alcun modello cosmologico attuale una giustificazione sufficiente del perché la configurazione iniziale dell'universo *non* sia stata tale da produrre qualcosa di molto diverso da ciò che abbiamo oggi nell'universo medesimo,

> dobbiamo dunque cercare una spiegazione nel principio antropico? Tutto quanto fu dunque il prodotto di un caso fortuito? Questa sembra essere una conclusione del tutto insoddisfacente, una negazione di tutte le nostre speranze di comprendere l'ordine sottostante all'universo (Hawking 1988, 157).

Una negazione anche delle tenui speranze di un acceso sostenitore della teoria della casualità come Weinberg. Le speranze di dare, proprio mediante la ricerca fisica, un qualche senso a quella che egli ha definito la «farsa» della vita umana sulla terra. Al fondo dell'impredicibilità di singoli eventi, esisterebbe invece per Hawking *il determinismo rigoroso* della struttura geometrica su larga scala dello spazio–tempo, consistente con la teoria della relatività, e la susseguente ipotesi della natura «complessa»[80] del

---

[79] Alle medesime conclusioni giunge J.J. Sanguineti (Catsagnino & Sanguineti 2000, 158). Nella parte scientifica del libro a cura di M. Castagnino può trovarsi anche una preziosa ricostruzione delle nozioni scientifiche fondamentali, soggiacenti a queste diverse interpretazioni del tempo e della sua evoluzione nell'ambito delle teorie sulla gravitazione quantista (*ibid.*, cfr. 361ss.).

[80] Natura «complessa» del tempo significa che esso non può essere definito solo mediante numeri reali come si fa ordinariamente in fisica. Se invece si prende la teoria quantistica nell'interpretazione di Feynman, essa ha la «strana» caratteristica che discuteremo in seguito secondo la quale il tempo deve essere definito su numeri immaginari. I numeri

tempo quando abbiamo a che fare con l'integrazione di fenomeni quantistici nel *framework* della teoria relativistica della gravitazione (Hawking 1988, 158ss. Cfr. *infra* 6.3.3.1, pp. 457ss.).

«Dio non gioca a dadi»

Il tutto, comunque, secondo i dettami dell'interpretazione più stretta che sia possibile del motto determinista einsteiniano: «Dio non gioca a dadi» (Hawking 1993). Rispetto ad ambedue le precedenti opinioni, l'ipotesi di Hawking ha perciò il pregio di voler essere costruttiva, sebbene derivi da una convinzione ideologica di determinismo geometrico della natura che verrebbe voglia di definire vetero–newtoniana[81]. Ovvero, l'ipotesi di Hawking ha il pregio di tentare di fornire dall'interno della scienza un contributo allo sviluppo della teoria della cosiddetta «gravitazione quantistica». Essa è infatti la méta comune alla quale cercano di giungere sforzi di questo genere per la costruzione di una «teoria di grande unificazione» della meccanica relativistica e di quella quantistica. Vi torneremo.

*Casualità* alla Weinberg, *finalismo* alla Barrow o *determinismo* alla Hawking? Abbiamo fornito solo un esempio tratto dalla cosmologia di quest'uso limitante della filosofia della scienza, quando cerca di sostituirsi, senza un appropriato lavoro critico di fondazione, alla «grande assente» dei nostri giorni: la filosofia della natura. Altri e ben più deprimenti esempi potrebbero essere forniti da tutti i campi delle scienze moderne, quelli della biologia e delle neuroscienze, innanzitutto. Vi accenneremo nel corso di

---

immaginari sono quei numeri che moltiplicati per se stessi danno comunque sempre risultato negativo, differentemente dai numeri ordinari o, appunto «reali» i quali, tanto se positivi o negativi, moltiplicati per se stessi danno sempre e comunque risultato positivo. Così, sull'asse reale, $-2 \times -2 = 4$. Viceversa, nell'asse immaginario, il prodotto di due numeri immaginari sarà sempre negativo. Perciò l'unità immaginaria $i$ moltiplicata per se stessa da $-1$, quindi $2i \times 2i = -4$. In tal modo, se si usano i numeri immaginari per definire il tempo, si rende possibile *l'inversione della freccia temporale* su scala cosmica (= reversibilità temporale). Estendendo quest'idea anche allo spazio-tempo «curvo» della teoria della relatività generale per descrivere entro un formalismo alla Feynman «gli integrali di percorso» di *infiniti* possibili universi — mentre invece *entro* ciascun universo il tempo continua ad essere definito sui reali, come sempre crescente, coerentemente coi principi della termodinamica —, questa sorta di tempo cosmologico «meta–universale» acquista una struttura reversibile come lo spazio, rimuovendo uno dei principali ostacoli teorici all'unificazione fra meccanica quantistica e relativistica. Metafisicamente ciò significherebbe proporre la possibilità — si tratta pur sempre e solo di un'ipotesi fisico–matematica — di una visione del cosmo come *eterno* (coeterno con Dio, in teologia naturale), fornendo un esempio moderno di quel principio caro alla metafisica tomista, secondo cui la questione dell'eternità del mondo, non è questione *decidibile* in metafisica, seppure sempre esiste la necessità di una *fondazione* «dal di fuori» del cosmo della sua esistenza — che sarebbe coeterna con Dio, in quest'ipotesi. Torneremo nel cap. 6. sull'intera, delicata questione per i rapporti fra fisica, metafisica e teologia. Cfr. anche (Basti 2000).

[81] Non a caso dunque Hawking siede sulla medesima, prestigiosa cattedra che fu di Newton all'Università di Cambridge.

questo lavoro. La filosofia della scienza si riduce insomma a disciplina del libero «gioco delle interpretazioni» di dati e d'ipotesi scientifiche più o meno consistenti, secondo un'espressione cara all'ermeneutica contemporanea, quella di un P. Ricoeur per esempio? Sarebbe ben poca e misera cosa, per quanto siano sempre rispettabili le opinioni filosofiche di tutti, quelle di valenti scienziati in particolare. Ma tali opinioni esigono il nostro rispetto solo finché rimangano tali: *opinioni*. Ovvero sono rispettabili solo fintantoché non pretendano di divenire «dottrina scientifica», magari per un'indebita e non sempre inconsapevole estrapolazione del prestigio conquistato da questi grandi della scienza a prezzo di un rigore dimostrativo nella loro disciplina che tutti gli riconosciamo volentieri, ad ambiti filosofici o peggio metafisici.

Necessaria distinzione fra filosofia della scienza e della natura

Tornando a noi, solo se accettiamo la definizione di «filosofia della scienza» data più sopra (Cfr. Definizione 2) come teoria dei fondamenti delle scienze naturali e non dell'essere degli enti da esse studiate — in una parola, solo se accettiamo la distinzione fra filosofia della scienza e filosofia della natura (Cfr. Definizione 1) — eviteremo che la filosofia della scienza medesima si trasformi in galleria per l'esibizione delle opinioni filosofiche e/o ideologiche personali — peraltro rispettabilissime — di coloro che scrivono di essa. Allo stesso tempo diverrà molto più semplice trovare una relazione fra filosofia della natura e filosofia della scienza che è il *proprium* e l'originalità di questo nostro lavoro. Ciò diverrà chiaro non appena avremo definito anche cosa sia la «metafisica», di cui la filosofia della natura è una parte o una disciplina speciale.

## 4.2 Il metodo scientifico

### 4.2.1 Scienza moderna e metodo dimostrativo

Il problema del linguaggio nella comprensione del pensiero classico

Nella filosofia aristotelico - tomista la metafisica viene definita come «scienza dell'essere in quanto essere» o «filosofia prima», sottintendendo con tale espressione quella di «scienza delle cause prime». Sono tutte espressioni che difficilmente hanno un senso per il moderno. Esse lo possono acquisire una volta che si siano definiti questi termini. Fatto questo, siamo ovviamente liberi di accettare o modificare questa terminologia per renderla accessibile e soprattutto non equivoca per il moderno.

Primo passo per cercare di disboscare la giungla di equivoci fiorita nella modernità intorno a questi termini è di cercare di comprendere cosa si intenda con «scienza» nell'accezione dell'antica filosofia aristotelico - tomista. Vedremo che esso è un senso più esteso che include quello

moderno, il quale identifica ciò che è scienza esclusivamente con ciò che è *scienza empirica* (naturale e umana) e/o *logico - matematica*. Definendo poi la nozione intimamente connessa di *epistemologia*, in questa sezione del lavoro porremo le basi per comprendere in che senso e perché nella modernità l'epistemologia ha cercato di prendere il posto della metafisica e della metalogica nella fondazione delle scienze. Ciò ci aiuterà a capire perché la filosofia della scienza ha cercato di sostituire la filosofia della natura. Cominciamo dal fondo, cioè dalla nozione di *epistemologia*.

**Definizione 3**

**Con «epistemologia» s'intende quella disciplina logica e filosofica che studia i metodi della «conoscenza scientifica» (in greco ἐπιστήμη, *epistéme*) ed in particolare le basi della sua *scientificità* e della sua *certezza*. L'epistemologia si distingue così dalla *gnoseologia* o «filosofia della conoscenza» che studia la conoscenza *in generale*, nel suo dispiegarsi ed articolarsi, oltre che nelle sue basi psicologiche nella mente umana. Ma si distingue anche dalla *metalogica* e dalla *metamatematica* che studiano i fondamenti della logica e della matematica e quindi nozioni semantiche come la *coerenza* o la *verità* dei linguaggi formali.**

Torneremo alla questione dei rapporti fra epistemologia e scienza nell'accezione moderna del termine dopo aver definito la nozione di *scienza* in quel senso più ampio che sia capace di includere in esso anche la riflessione sui fondamenti, ovvero la riflessione metafisica e metalogica.

La nozione di «scienza» nel pensiero classico

Per introdurci a tale definizione più ampia della nozione di «scienza» ci sembra buono il suggerimento dell'amico Strumia (Strumia 1992, 16) di citare un passo del famoso *Distinguere per unire: i gradi del sapere* di J. Maritain. Fra i neo–scolastici di questo secolo è stato, infatti, questo esimio filosofo francese colui che nel mondo laico più si è preoccupato di rendere comprensibile ad un moderno l'articolazione classica delle diverse forme di sapere. Allo stesso tempo, questa citazione ci fa vedere il limite di queste volenterose letture neo–scolastiche del rapporto metafisica–scienza. Afferma Maritain:

> Quale idea farci della scienza in generale, presa secondo la forma - limite che lo spirito ha di mira quando ha coscienza di sforzarsi verso quello che gli uomini chiamano sapere? L'idea che Aristotele e gli antichi se ne facevano è molto differente da quella che se ne fanno i moderni, giacché per costoro è la dignità eminente delle scienze sperimentali (...) che attrae in sé la nozione di scienza; mentre per gli antichi è la dignità eminente della metafisica ad orientare tale nozione. Bisogna, dunque, guardarsi dall'applicare così com'è senza precauzioni, la nozione aristotelico - tomista di scienza a tutto l'immenso materiale noetico che i nostri contemporanei sono soliti chiamare col nome di scienza: si incorrerebbe nei più gravi errori. Tuttavia per gli antichi e per i moderni, in ciò concordi, il tipo di scienza più chiara, più perfezionata e più perfettamente alla nostra portata è fornito dalle matematiche. E si può pensare che a condizione, non dico di essere corretta e adattata, *bensì sufficientemente approfondita ed epurata, la teoria intellettualistico critica o realistico critica della scienza i cui principi sono stati stabiliti dai metafisici antichi e medievali, è la sola che ci dia un mezzo per veder chiaro nei problemi epistemologici, divenuti ai giorni nostri un vero caos.* Come dunque definire la scienza in generale e secondo il suo tipo ideale? Noi diremo che la scienza è una conoscenza di modo perfetto, più precisamente una conoscenza in cui, sotto la costrizione dell'*evidenza*, lo spirito assegna le ragion d'essere delle cose, giacché lo spirito non è soddisfatto che quando attinge non solo una cosa, un dato qualsiasi, ma anche ciò che fonda quel dato nell'essere e nell'intelligibilità. *Cognitio certa per causas* dicevano gli antichi, conoscenza *per dimostrazione* (o, in altre parole, *mediamente evidente*) e conoscenza *esplicativa* (Maritain 1959, 44s. Corsivi nostri)

La nozione classica di «scienza» ed il suo carattere inclusivo della nozione moderna

Come dicevamo, questo brano è significativo, non solo perché testimonia di una pagina importante della storia recente dei rapporti fra filosofia della natura e della scienza, ma è significativo perché evidenzia inconsapevolmente alcuni limiti di certa filosofia neo - scolastica di questo secolo. Prima però di addentrarci su questo punto essenziale per comprendere in che senso oggi si può finalmente impostare correttamente il rapporto fra riflessione metafisica e metalogica, da una parte, e scienze e filosofia delle scienze dall'altra, prendiamo da questo brano di Maritain quella definizione di *scienza* propria della filosofia scolastica che anche un moderno può accettare, perché include in esso sia la nozione di «scienza naturale» che di «scienza matematica», nonché di scienza «fisico–matematica»[82]. Due sono infatti i caratteri della conoscenza e del lin-

[82] Come si sa, per Tommaso, formato in questo alla scuola di Alberto Magno a Colonia, fra i domenicani, come pure per Roberto Grossatesta e Ruggero Bacone, francescani e loro contemporanei a Oxford esistevano anche le scienze fisico–matematiche. Esse furono definite da Tommaso *scienze intermedie* (Cfr. Tommaso d'Aq., *In Post. An.*, I, xli, 358; *In de Trin.*,)

guaggio scientifici che da tale definizione emergono, rispetto alle altre forme di conoscenza: il carattere *dimostrativo* ed il carattere *esplicativo*.

### Definizione 4

**Con «teoria scientifica» s'intende una dottrina o sistema di definizioni, di dimostrazioni e di metodi d'indagine che non si limita a descrivere i suoi oggetti di studio, ma cerca di *spiegarli*, secondo una *procedura dimostrativa* tipica del suo metodo di indagine, così da dare alle sue spiegazioni un valore *universale* e *necessario*.**

Dove «universalità e necessità» significano che chiunque si metterà a studiare questi medesimi oggetti, seguendo lo stesso metodo di indagine e partendo dai medesimi *postulati* o *assiomi*, arriverà *sempre* e *dovunque* alle medesime conclusioni. L'universalità e la necessità delle spiegazioni fornite da una disciplina scientifica e dalla sua procedura dimostrativa è questione, comunque, completamente distinta da quella *dell'ipoteticità* dei suoi assiomi e delle sue regole d'inferenza e quindi dal fondamento della *verità* e della *consistenza* della teoria scientifica stessa che, come sappiamo, non potrà mai pretendere di essere *assoluta*, ma sempre *validata entro limiti ben definiti*.

In sintesi potremmo dire che una *disciplina* (= insieme di dottrine con un metodo definito) può dirsi «scientifica»:

1. Il carattere dimostrativo di ogni disciplina scientifica

- Nella misura in cui non si limita a *descrivere* i propri oggetti di indagine (enti o eventi), ma cerca di *spiegarli*. Ne ricerca cioè:

  **a.** nel caso delle *scienze naturali*, le *cause* e/o le *leggi* fisiche, se essi sono oggetti *naturali* (enti/eventi fisici), oppure

  **b.** nel caso delle *scienze logico - matematiche*, le *leggi* e le *ragioni logiche* (= *condizioni di pensabilità / costruibilità*), se essi sono oggetti *logici* e/o *matematici* (linguaggi, teorie, etc.) e/o *artificiali* (macchine, artefatti, etc.), o, infine

  **c.** nel caso delle *scienze metafisiche e metalogiche*, i *fondamenti metafisici* ed i *fondamenti metalogici* «ultimi» per tutti e tre i precedenti casi, ovvero sia per gli enti naturali che per quelli logici ed artificiali.

2. Il carattere esplicativo di ogni disciplina scientifica

- Nella misura in cui raggiunge e definisce le proprie spiegazioni secondo una rigorosa procedura *dimostrativa*. In tal modo, le spiegazioni scientifiche hanno sempre valore *universale e necessario*, anche se *mai assoluto*, altrimenti si cade nella mitologia del razionalismo in filosofia e dello scientismo nelle scienze naturali. Anzi la *perfettibilità* di una conoscenza è segno di razionalità e scientificità. La conoscenza scientifica *completa* e *coerente* del mondo è il mito illuminista antropocentrico, che è alla radice di tutte le devastazioni teoretiche della modernità (v. *incompletezza**).

Carattere pre–scientifico di ogni disciplina descrittiva e/o fenomenologica

Quelle discipline, invece, che si limitano a descrivere i propri oggetti d'indagine senza spiegarli sono dette discipline *descrittive* e/o *fenomenologiche*. Di solito la descrizione accurata dei fenomeni da spiegare è comunque il primo passo *indispensabile* per la loro spiegazione, per il passaggio cioè da una disciplina descrittiva (p.es. la geografia) ad una scientifica (p.es. la geologia).

Universalità, necessità e non esaustività del linguaggio scientifico

Con tutto ciò s'intende dire che qualsiasi affermazione sia dimostrata in maniera coerente (= non contraddittoria) ed inequivocabile (= senza ambiguità nelle definizioni e nelle procedure usate) ha il marchio indelebile dell'*eternità* (universalità–necessità), anche se *mai* si può affermare che si tratta dell'affermazione *esaustiva, definitiva*, non–perfettibile e quindi «assoluta» di quel campo di indagine. P.es., il teorema di Pitagora è universale–necessario proprio perché rigorosamente dimostrabile all'interno dei postulati della geometria euclidea. Chi accetta quei postulati, cioè, in qualsiasi epoca o in qualsiasi luogo della terra egli si trovi, non può non constatare la *verità formale* di quel teorema. Ciò vale per qualsiasi altro teorema dimostrabile all'interno della geometria euclidea. Allo stesso tempo, contrariamente a quanto prima dell'invenzione ottocentesca delle geometrie non–euclidee si potesse pensare, i teoremi della geometria di Euclide *non esauriscono* la scienza geometrica. La non–esaustività della conoscenza davvero scientifica dipende da un duplice motivo:

Necessità di una fondazione degli assiomi

- Dal fatto che i *postulati* o *assiomi* (= gli enunciati e le definizioni di partenza di una procedura dimostrativa) da cui dipende la coerenza della procedura dimostrativa stessa hanno da essere a loro volta *fondati*, essendo ormai caduto il mito dell'*autoevidenza* (Cfr. § 1.5, pp.68ss.).

Incompletezza dei linguaggi formali

- Dal fatto *dell'incompletezza** logica di ogni linguaggio formale, per cui ogni linguaggio formale contiene *necessariamente* in se stesso enunciati *compatibili* con i suoi assiomi di partenza, ma *indecidibili* all'interno del sistema (§ 3.1.3, pp. 193ss.)

Per quanto riguarda il problema della *fondazione degli assiomi*, torneremo fra poco sul problema. Per il momento, si può anticipare che:

Il problema della fondazione degli assiomi

- I molteplici assiomi delle teorie appartenenti alle varie *scienze naturali e umane* (= leggi fisiche, biologiche, psicologiche, sociologiche, etc.) hanno da essere fondati:

    - *Sia dalle scienze matematiche*, nella misura in cui le scienze naturali ed umane usano, come nel caso delle scienze moderne, un linguaggio formale di tipo matematico per le proprie dimostrazioni. Fra gli assiomi delle scienze naturali ed umane esisteranno così tutta una serie di proposizioni matematiche la cui validità viene supposta perché dimostrata altrove.

    - *Sia dal riferimento all'oggetto empirico d'indagine* proprio di una data scienza. Mediante tali assiomi empirici, il *sistema formale** matematico «generico» (p.es., una certa classe di funzioni o di equazioni) che viene usato in una data procedura dimostrativa di una scienza naturale, viene «interpretato» sotto forma di *modello** applicabile a quella specifica ricerca. Così, p.es., la teoria maxwelliana dell'elettromagnetismo, altro non è che un particolare modello applicativo di una certa classe di equazioni alla rappresentazione del moto delle cariche elettriche in un campo di forze. Il medesimo tipo di equazioni può essere applicato anche alla rappresentazione del moto delle particelle in un fluido, secondo un altro modello o «interpretazione» del medesimo sistema formale. Anzi, storicamente, Maxwell mutuò la sua teoria (modello) elettro–magnetica proprio da un tale modello idrodinamico e solo dopo fu definito il sistema formale da cui e l'uno e l'altro modello derivavano.

- Gli assiomi delle *scienze matematiche* hanno da essere a loro volta fondati in una riflessione fondazionale di tipo *metamatematico*. Ovvero, hanno da essere fondati su teorie che appartengono al novero delle discipline *metamatematiche e metalogiche*, e che appartengono di buon diritto ad un'accezione post-moderna delle scienze metafisiche ed ontologiche.

- Gli assiomi delle *scienze metafisiche e ontologiche*, innanzitutto i *primi principi* di ogni procedura dimostrativa (= principi metalogici e le loro *interpretazioni** metafisiche, p.es., principio di non contraddizione (p. d. n. c.), principio di identità (p. d. i.), principio del terzo escluso (p. d. t. e.), principio di causalità (p. d. c.), etc. nella loro applicazione a quell'oggetto particolare d'indagine che è *l'essere* nelle sue diverse accezioni), hanno da essere a loro volta fondati dal loro riferimento

all'*essere* stesso degli enti oggetto di studio e alcuni, come il p.d.n.c., possono essere dimostrati solo *per assurdo*. P.es., chiunque volesse negare il p. d. n. c., simultaneamente, metalinguisticamente, lo prova mentre lo confuta, perché il negarlo implica che non lo si sta affermando e dunque per poterne negare la validità si deve accettarla.

Dal metodo apodittico a quello ipotetico–deduttivo nella scienza moderna

In tale contesto, esiste una profonda differenza fra il metodo delle *scienze naturali moderne*, che alle sue origini, nella fisica newtoniana, era *assiomatico*, ma *apodittico–deduttivo* e quindi, a partire dal secolo scorso, restando *assiomatico*, è divenuto di tipo *ipotetico–deduttivo*, ed il metodo *analitico–sintetico*, tipico dell'epistemologia aristotelico–tomista, basato sul sillogismo — *apodittico* o «categorico» nelle scienze metafisiche, *ipotetico* nelle scienze fisiche (Cfr. § 6.3.2.2, pp. 446ss.). Con Galilei e soprattutto con Newton e la sua invenzione del calcolo, come sappiamo, la scienza naturale, ed innanzitutto la fisica, ha cessato di interessarsi delle diverse «nature» degli enti (corpi ed eventi) fisici e delle «cause» del loro *esistere* e del loro *divenire* (= moto locale e modificazioni intensive ed estensive di certe loro grandezze caratteristiche, p.es., temperatura, dimensioni, posizione, etc.) per diventare una scienza che si interessava unicamente della *rappresentazione fenomenica* di questi enti mediante misurazioni rigorose sulle grandezze che le caratterizzano e della *predicibilità* sotto forma di calcolo analitico delle *variazioni* di queste grandezze.

Modelli empirici e modelli ontologici nella scienza moderna

Ciò naturalmente non esclude che sia possibile in taluni casi fornire *modelli ontologici* di teorie scientifiche puramente rappresentazionali. Ovvero, non si esclude che sia possibile passare da un'interpretazione puramente *fenomenica* delle teorie scientifiche, secondo i principi della *logica delle proposizioni* e del *metodo ipotetico–deduttivo*, ad un'interpretazione *ontologica* di esse, in termini di modelli che descrivono talune *proprietà essenziali* (= la *natura*) degli oggetti fisici (enti ed eventi) studiati e delle relazioni causali che ne determinano l'esistenza, secondo i principi della *logica dei predicati** nella sua interpretazione *intensionale*, ed il *metodo analitico–sintetico*, tipico della sillogistica aristotelica ed oggi ampiamente rivisitato e rivisitabile con gli strumenti moderni di una logica simbolica di tipo non-estensionale (Wallace 1996; Basti & Perrone 1996; Cellucci 1998)[83]. Anzi, dal punto di vista epistemologico, ogni scienziato sperimentale lavora nella con-

---

[83] La principale differenza fra una logica dei predicati a base *intensionale** e non *estensionale* è che la prima interpreta i predicati in termini di *proprietà* che ineriscono a determinati oggetti, denotati dai soggetti delle relative proposizioni. La seconda invece interpreta i predicati supponendo l'esistenza delle classi degli elementi che costituiscono il dominio e dunque l'estensione del relativo predicato. L'interpretazione dei predicati in termini intensionali è la base dell'ontologia sia descrittiva che formale e costituisce quindi l'*organon*, lo strumento logico appropriato, di ogni teoria metafisica (Cfr. Bochenski, 1995, 116). La distinzione fra questi due modi di trattare i predicati è alla base della distinzione fra *logica intensionale* (o contenutistica) e *logica estensionale* (o formale).

vinzione tutt'altro che infondata di studiare enti e relazioni causali, e non solo relazioni logico–formali fra sue rappresentazioni mentali e/o linguistiche di ipotetici oggetti. Solo a livello di formalizzazione logica della teoria esiste — e deve esistere per non ripetere errori e confusioni passate — la suddetta distinzione fra *modelli fenomenici*, ipotetico–deduttivi, e *modelli ontologici*, analitico–deduttivi, dell'oggetto dello studio scientifico moderno. In questo senso, ogni autentico scienziato è anche un filosofo naturale: l'importante è che i due ruoli siano tenuti distinti. Solo così possono reciprocamente fecondarsi, evitando strumentalizzazioni ideologiche della scienza moderna.

In questa luce, si può anticipare che è solo un dogmatismo derivante dall'imperio culturale di un'epistemologia puramente *empirista* e di un'ontologia puramente *rappresentazionale* della scienza ha portato molti filosofi della scienza del XX secolo ad affermare un'esclusività del *metodo ipotetico–deduttivo,* come unico metodo dimostrativo nelle scienze moderne. Ma tale carenza — soprattutto negli ultimi dieci anni — tende ad essere ormai ampiamente superata, sia per motivi culturali — ha decretato infatti una distanza spesso incolmabile fra lo scienziato, soprattutto sperimentale e il filosofo della scienza —, sia per motivi teoretici — la fine dello scienticismo.

Il carattere esplicativo della fisica moderna all'interno del metodo ipotetico–deduttivo ed il concetto di «legge»

In ogni caso, per limitarci alle scienze fisiche che costituiscono il paradigma della scienza moderna, e per muoverci all'interno del metodo ipotetico–deduttivo che resta, comunque, il metodo entro cui sono formalizzate oggi la più gran parte delle teorie fisico–matematiche, la «spiegazione» scientifica assume un carattere particolare, rispetto alla visione pre–moderna della scienza che era di tipo esclusivamente ontologico. La spiegazione, cioè, viene ad identificarsi, nella scienza moderna delle origini, non con la definizione della causa di un certo evento, ma con la definizione della *legge geometrica* (= funzione) e della relativa *equazione algebrica* (= polinomio) che governa la variazione di una certa grandezza (= variabile dipendente) rispetto alla variazione di un'altra grandezza (= variabile indipendente). «Spiegare» per la fisica moderna significa dunque «riportare ad una legge universale» un particolare evento/processo fisico in quanto caratterizzato da certe *grandezze misurabili*.

Possiamo definire come segue il concetto di «legge» come sostitutivo di quello di «causa» nelle spiegazioni offerte dalle scienze naturali moderne, secondo il metodo ipotetico–deduttivo:

**Definizione 5**

**Con «legge scientifica» s'intende nelle scienze fisiche ipotetico–deduttive, un asserto di tipo generale, normalmente espresso sotto forma matematica (equazione, funzione), con cui si vuol definire, spiegare ma soprattutto predire il comportamento di un sistema fisico, in accordo con misure sperimentali riguardanti situazioni dello stesso tipo.**

L'uso di questo formalismo geometrico–algebrico per la rappresentazione–determinazione dei moti locali e/o delle modificazioni dei corpi suggerì infatti allo scienziato moderno, fin dalle origini, la possibilità di ricercare le spiegazioni «ultime», non a livello di cause fisiche *universali* di tutti gli eventi fisici. Bensì di cercarla a livello di leggi e postulati *universali* del moto da cui derivare come teoremi tutte le altre leggi e relazioni particolari, proprio come, nella geometria dello spazio piano, tutti i teoremi e le equazioni che riguardano le diverse figure geometriche e le loro relazioni possono essere dedotti univocamente dai cinque postulati di Euclide.

Le tre leggi della dinamica di Newton e il loro carattere paradigmatico

Come già abbiamo ricordato al Capitolo Primo (Cfr. sopra, p. 100), si deve al genio di Newton la definizione delle *tre leggi fondamentali della dinamica* (principio di inerzia, principio di proporzionalità fra forza e massa per accelerazione, principio di azione e reazione) universalmente valide *a priori* per tutti i moti studiati dalla meccanica (= scienza dei moti degli enti fisici e delle loro leggi), come condizioni logico - formali di applicabilità del calcolo infinitesimale/differenziale da lui scoperto alla descrizione - predizione di tutti i moti dell'ordine fisico, secondo un metodo rigorosamente *fenomenico* e insieme *apodittico,* fondato sulla presunta *auto-evidenza* delle leggi del moto.

La centralità del principio di evidenza e la fondazione epistemologica e non ontologica della scienza moderna delle origini

Gli strabilianti iniziali successi del «nuovo» metodo newtoniano di scienza hanno così costretto l'epistemologia e la metafisica *moderne* a divenire da *realiste, empiriste e/o razionaliste.* Ovvero, a ricercare il fondamento delle «spiegazioni» e dei «postulati» delle procedure dimostrative delle singole scienze non nell'*essere* e nelle diverse *nature* dei vari enti, ma nell'*evidenza empirica,* contingente, delle misurazioni e in quella *apodittica, assoluta,* dei postulati posti a fondamento delle diverse procedure scientifiche di dimostrazione: le tre leggi della dinamica di Newton. Ora, siccome l'evidenza è una proprietà del pensiero e, più esattamente, è una proprietà del pensiero in quanto *cosciente* (in questo senso, di-mostrare un teorema significherebbe rendere logicamente evidente, ovvero esplicitare ad

una coscienza delle conseguenze implicite nelle premesse), è ovvio che l'evidenza ultima dei postulati e dei primi principi logici, se non viene fondata sull'essere naturale dei diversi enti, dovrà fondarsi su una presunta *evidenza immediata* o *autoevidenza* dei medesimi alla coscienza e quindi sulla capacità della coscienza di divenire consapevole di quest'evidenza, ovvero sull'*autocoscienza*.

La questione dei fondamenti: il trascendentale della coscienza *versus* il trascendentale dell'essere

Di qui la differenza essenziale della metafisica della modernità da quella della classicità nel cercare il fondamento ultimo dei concetti universali della ragione e delle proposizioni «prime» o *principi* di ogni procedura dimostrativa non nel *trascendentale oggettivo* dell'essere di un ente, delle sue *proprietà* e delle sue *relazioni reali* (= cause), ma nel *trascendentale soggettivo* dell'«Io penso», del *cogito* cartesiano e kantiano, ovvero del pensiero *autocosciente*, come fondamento, mediante il principio di evidenza, delle *relazioni logiche*. Secondo lo schema kantiano, queste auto–evidenze, intese come *forme pure a priori*, senza contenuto, del pensiero autocosciente sono ciò che *ordinano* in modo *necessario* e *universale* i contenuti delle *evidenze empiriche a posteriori* contingenti dell'osservazione, dotando gli enunciati della scienza fisica moderna di quel carattere di empiricità ed insieme di logicità — carattere *sintetico–a priori* lo definiva Kant — che fonda l'universalità e la necessità delle sue spiegazioni puramente fenomeniche (Cfr. § 5.6.1, pp. 381ss.). Prima però di addentrarci nel prossimo capitolo in siffatte questioni metafisiche ed epistemologiche nell'ambito della storia del pensiero filosofico, che ci saranno utili per definire una nozione moderna di filosofia della natura, adeguata ai risultati della riflessione contemporanea, chiariamo meglio quali sono le caratteristiche del metodo *ipotetico–deduttivo,* tipico della logica della scienza moderna, post–kantiana.

## 4.2.2 Il metodo ipotetico–deduttivo

### 4.2.2.1 Ludwig Wittgenstein

Dall'epistemologia alla filosofia del linguaggio

La filosofia della scienza, intesa come riflessione metodologica sulla scienza affonda le sue radici negli albori del pensiero occidentale (Oldroyd 1998). La nascita della filosofia della scienza come disciplina autonoma, agli inizi del XX secolo coincide con la necessità di riconsiderare profondamente i fondamenti della scienza moderna, non più affidandosi all'analisi filosofica dell'atto cognitivo e del moderno principio di evidenza in quanto espressione del pensiero di un *soggetto conoscente*, ma all'oggettività dell'analisi logica del *linguaggio scientifico*.

Ludwig Wittgenstein e il *Tractatus*

Gli inizi della riflessione filosofico–scientifica moderna coincidono così col tentativo portato avanti dal filosofo austriaco Ludwig Wittgenstein (1889-1951) di estendere alla riflessione epistemologica e linguistica i risultati dell'assiomatizzazione logica della matematica conseguiti nei *Principia Matematica* (1900-1913) di Whitehead e Russell del quale egli seguì le lezioni di logica a Cambridge negli anni 1911-1913. Il manifesto di tale rivoluzione fu l'opera principale di Wittgenstein, il *Tractatus Logico-Philosophicus* (1922), che uscì con l'approvazione e la prefazione del suo maestro Russell, ottenendo immediata risonanza internazionale.

La filosofia del linguaggio come terapia linguistica e la nascita della filosofia analitica

Il nucleo del *Tractatus* non è comunque e propriamente di filosofia della scienza, bensì di filosofia del linguaggio, proposta come «medicina» per sanare il linguaggio ordinario, innanzitutto quello filosofico, dalle sue «malattie». Il *Tractatus* costituisce così il manifesto inaugurale di quella scuola di pensiero filosofico che va sotto il nome di *filosofia analitica*, consistente nell'applicazione sistematica della logica simbolica all'analisi filosofica, in modo da chiarirne presupposti e metodologie d'indagine, contro oscurità, ambiguità ed inconsistenze[84].

Indole riduzionista del *Tractatus* e la polemica antimetafisica

Il *Tractatus* si muove tuttavia in un'ottica riduzionista per il pregiudizio di fondo che identificava la logica simbolica con la logica matematica e l'analisi della referenza alla sola analisi empirica di tipo metrico, propria delle scienze. Così, le «malattie del linguaggio» consistono per il Wittgenstein del *Tractatus* nell'uso a-critico di proposizioni *senza significato,* coincidendo il significato delle proposizioni stesse col *metodo della loro verificazione empirica.* È chiaro che, allora, gran parte delle proposizioni metafisiche, proprio perché non possono essere empiricamente verificate risultano senza senso, ed i problemi cui si riferiscono *falsi problemi.* Problemi non ontologici, quindi, ma grammaticali, legati ad un uso falso del linguaggio. Il linguaggio realmente significativo è per Wittgenstein essenzialmente il linguaggio delle scienze naturali e matematiche.

Il programma dell'atomismo logico wittengsteiniano

Partendo dalla *tautologicità* delle proposizioni logiche e matematiche (leggi logiche) e quindi dalla loro verità logico–formale, il programma di terapia linguistica proposto da Wittgenstein è anche definito il programma del cosiddetto *atomismo logico.* Il linguaggio autenticamente significativo è quello costruito seguendo le regole di costruzione e d'inferenza della logica–matematica, mediante cui costruire proposizioni significanti e catene di proposizioni significanti (discorsi, dimostrazioni). Tali costruzioni

---

[84] Una classica introduzione a temi, problemi e metodi della filosofia analitica in relazione a trattazioni di problematiche filosofiche e metafisiche più tradizionali può trovarsi in (Strawson 1992). Altra bibliografia di estremo interesse per il collegamento fra filosofia analitica e la contemporanea ontologia formale può trovarsi al sito web www.formalontology.it.

usano come «mattoni» i *primitivi* dei diversi *sistemi formali**, «primitivi» che per Wittgenstein sono altrettante *proposizioni semplici* o *categoriche* (soggetto–predicato) rispecchianti *fatti elementari* del mondo fisico, veri e propri *atomi linguistici* di tipo sensista, dunque. In questo modo, il linguaggio significante viene ad essere un vero e proprio «rispecchiamento simbolico» della realtà e delle sue strutture[85].

Indole riduzionista del programma Wittgensteiniano e sua funzione terapeutica

Non che Wittgenstein non fosse cosciente dell'indole riduzionista di questo suo programma, del fatto cioè che in tal modo l'uso del linguaggio veniva precluso ad una quantità di problemi ed oggetti che costituiscono gran parte degli usi linguistici correnti. Si pensi al linguaggio non solo metafisico, ma anche a quello religioso, artistico, politico, letterario, etc. Per tutti questi usi valeva l'ultima, famosa, lapidaria massima che concludeva il *Tractatus:* «di ciò di cui non si può parlare, conviene tacere». Massima, comunque preziosa — a prescindere dall'uso troppo restrittivo qui propostone — e che, comunque, sarebbe il caso di applicare in tanti contesti della comunicazione odierna! Mai come oggi, infatti, il linguaggio avrebbe bisogno di una «terapia», di una vera e propria «cura da cavallo», quale quella genialmente precorsa da Wittgenstein, sebbene con «medicinali» diversi e più ad ampio spettro di quelli proposti dal geniale filosofo austriaco.

Il «secondo» Wittgenstein e il suo insegnamento a Cambridge

D'altra parte, lui stesso per primo s'incamminò in questa direzione. Dopo la composizione del *Tractatus,* prima ancora della sua definitiva pubblicazione dopo la prima guerra mondiale, alla quale partecipò rimanendone fortemente segnato nello spirito, Wittengstein si ritirò in solitudine sulle montagne della Carinzia, per un lungo periodo che va dal 1920 al 1926. D'altra parte, poiché Wittgenstein era di famiglia molto ricca, e non avendo quindi problemi economici e lavorativi, in questo tempo si dedicò all'insegnamento elementare ai bambini di quei luoghi sperduti e bellissimi, meditando addirittura di ritirarsi a vita monastica. Fu di nuovo Russell a convincerlo ad uscire dall'esilio volontario che si era imposto. Prese la

[85] Per inciso, si può notare una specie di corrispondenza biunivoca fra lo schema dell'atomismo logico e quello del fenomenismo trascendentale kantiano. I fenomeni per Kant risultano dalla composizione fra le forme a priori, autocoscienti della sensazione (spazio e tempo), che ordinano singoli «atomi» di sensazione, le «impressioni» coscienti di humiana memoria ricevute dagli organi di senso. L'atomismo logico trasporta in campo linguistico lo stesso schema: gli atomi linguistici delle proposizione semplici corrispondono alle «sensazioni» kantiane della coscienza sensibile. Viceversa, la tautologicità degli assiomi logico–matematici, espressione di relazioni formali di autoidentità, e la loro verità puramente formale da cui deriva la loro funzione di ordinare logicamente le proposizioni semplici (atomi) per formare proposizioni complesse (molecole) significanti e consistenti, corrisponde alla funzione fondatrice della kantiana autocoscienza che, con le sue forme a priori e le sue categorie, ordina le sensazioni in fenomeni e questi in giudizi. Su questi rapporti fra l'atomismo logico del neo–positivismo ed epistemologia kantiana, Cfr. (Barone 1977) e (Pera 1981).

laurea in filosofia (*sic!*) nel 1926, quando già era considerato uno dei massimi filosofi contemporanei, e nel 1929 succedette a Moore sulla sua cattedra a Cambridge. Pur tuttavia la sua genialità gli impedì di pubblicare nulla di questo suo secondo periodo di cui rimane essenzialmente una raccolta di saggi, uscita postuma col titolo di *Ricerche filosofiche* nel 1953.

Il concetto di «giuoco linguistico» e di «grammatica universale»

In tali scritti, pur rimanendo fedele al suo programma terapeutico di filosofia del linguaggio, la sua critica si concentrò sugli usi impropri di molteplici tipi di linguaggio, avendo ormai abbandonata la pretesa piuttosto ingenua di affermare l'esistenza di un unico linguaggio significante. Il significato dei linguaggi è legato infatti ai diversi usi dei linguaggi stessi e alle loro regole. Così le improprietà linguistiche risulterebbero legati al fatto di usare costrutti linguistici al di fuori del *giuoco linguistico*, dell'insieme di regole d'uso, per cui erano stati originariamente costruiti (p.es., usare costrutti del linguaggio religioso in ambito scientifico e viceversa). La presunta «grammatica universale» mediante cui confrontare gli usi e i giochi linguistici, veniva da lui considerata

- da una parte una *realtà* — altrimenti non si spiegherebbe la capacità degli uomini di comprendersi fra di loro e di passare da un gioco linguistico ad un altro;
- dall'altra totalmente *implicita e non tematizzabile*, e quindi escludendo la possibilità, per i teoremi di limitazione a lui ben noti (Cfr. § 3.1.4, pp. 195 ss.), sia di costruire un *metalinguaggio universale* esplicito, sia di *confrontare e tradurre* fra di loro in maniera scientificamente, logicamente e linguisticamente, soddisfacente i costrutti linguistici appartenenti a giuochi diversi.

### 4.2.2.2 Movimento neo–positivista

Il «Circolo di Vienna» e la nascita del movimento neo-positivista

Il *Tractatus* ebbe vastissima risonanza in ambiente filosofico e scientifico e costituì l'enzima che accelerò il processo di costituzione del primo «nucleo forte» di filosofi della scienza del '900 che va sotto il nome di «Circolo di Vienna». Tale Circolo, costituito da giovani filosofi, logici, matematici e fisici del valore di un Kurt Gödel, Otto Neurath, Herbert Feigl, Rudolph Carnap, Philip Franck, Karl Popper — e più indirettamente Hans Reichenbach e Carl Hempel, fondatori di un analogo movimento a Berlino — si riunì progressivamente intorno agli anni '30, in occasione dei seminari di «scienze induttive», tenuti dal successore di Ernst Mach su quella cattedra all'Università di Vienna, Moritz Schlick (1882-1936). Egli fu ucciso da uno studente nazista sulle scale di quell'Università, per la sua fiera opposizione all'*Anschluss* dell'Austria alla Germania nazista.

L'applicazione dei principi dell'atomismo logico alla filosofia della scienza ad opera di M. Schlick

Sebbene Wittgenstein non partecipò mai a quei seminari, tuttavia Schlick contribuì moltissimo a diffondere le sue idee in ambito filosofico–scientifico, gettando così le basi del cosiddetto *movimento neo–positivista* — o *neo-positivismo logico* o *empirismo logico*, secondo varie accezioni e successive modificazioni del programma originario che non possiamo qui trattare[86]. Analogamente all'atomismo logico Wittgensteiniano, Schlick propose una teoria del linguaggio scientifico, basata sulle regole di costruzione e d'inferenza della logica matematica e sull'esistenza dei cosiddetti *asserti protocollari*, enunciati osservativi, cioè, che esprimono in forma rigorosa e quindi riproducibile e controllabile interpersonalmente, i risultati di singole *operazione di misura*.

Funzione di analisi logico–linguistica degli enunciati scientifici ad opera del filosofo della scienza

Tali enunciati, possono costituire sia i *primitivi* per la costruzione di teorie assiomatiche nelle scienze fisiche, in particolare sotto forma di *definizioni ostensive* dei suoi oggetti empirici di studio, sia enunciati per la *verifica empirica* di tipo induttivo (induzione enumerativa) di proposizioni altrimenti dedotte dagli assiomi ipotetici della teoria. Se alla scienza naturale spetta così di testare empiricamente la fattualità delle ipotesi per porre le teorie scientifiche medesime su basi ipotetiche sempre più solide, al filosofo della scienza spetta il compito di indagare sul significato delle costruzioni dei linguaggi scientifici, attraverso un'analisi logico–linguistica, sia delle medesime, sia della consistenza delle procedure di verificazione induttiva costruite dallo scienziato.

### 4.2.2.3 Karl R. Popper: il falsificazionismo

*Uso falsificativo del metodo ipotetico–deduttivo e le sue conseguenze.*

Il falsificazionismo di Popper e la critica all'uso verificativo degli enunciati osservativi

È proprio sull'inconsistenza logico–formale dell'uso di enunciati osservativi per la *verifica induttiva* di proposizioni all'interno di teorie di indole essenzialmente *ipotetica* che si basa la critica popperiana al neo–positivismo logico e al suo induttivismo. Infatti, specialmente quando si prende l'enunciato osservativo nel senso dell'enunciato protocollare di Schlick, come enunciato che esprime il risultato di un'operazione di misura, è chiaro che quest'enunciato va preso come conseguenza degli assiomi della teoria stessa. Essa infatti, come ogni modello, suppone la definizione di determinati *assiomi metrici*, assiomi cioè che definiscono le metriche che verranno usate all'interno della teoria stessa, per rendere capace il sistema formale di origine di includere enunciati empirici, relativi a misurazioni sperimentali, al suo interno. In termini intuitivi banali,

---

[86] Rimando per questo a quella che resta l'opera di ricostruzione più completa (Barone 1977), non solo nel contesto italiano, ma internazionale, del movimento neo–positivista del XX secolo nelle sue diverse ramificazioni, dalle origini fino alla sua «uccisione» ad opera della filosofia della scienza di K.R. Popper.

se costruisco una teoria ipotetico–deduttiva di fisica atomica, devo definire un assioma metrico che definisca che le grandezze che misurerò sono dell'ordine dei $10^{-8}$ cm. Dovrò inoltre definire tutta una serie di procedure per la costruzione di strumenti atti ad effettuare quel particolare tipo di misurazioni.

Alcuni modi validi e non validi delle argomentazioni ipotetiche

Ciò significa, nei termini della logica proposizionale elementare, che l'enunciato osservativo è pur sempre un qualche conseguente $q$, materialmente implicato da una qualche premessa $p$, secondo la relazione $p \supset q$. Usare la verità di $q$ per verificare $p$ è dunque un errore logico, l'errore della famosa «fallacia del conseguente»:

$$((p \supset q) \cdot q) \supset p \qquad (1)$$

Viceversa, costituisce un'argomentazione formalmente corretta quella del *modus tollendo tollens* del sillogismo ipotetico:

$$((p \supset q) \cdot \sim q) \supset \sim p \qquad (2)$$

Il che implica il considerare il controllo empirico mediante enunciati osservativi dedotti dalla teoria esclusivamente come *metodo di falsificazione* della teoria stessa, non di verificazione. Il fondamento logico–formale di tale posizione è infatti noto. $q$ formalmente è condizione *necessaria non sufficiente* per la verità di $p$. Correlativamente, $p$ è condizione *sufficiente, ma non necessaria* per la verità di $q$. Questo significa che non solo è falsa (1), ma è falsa anche la correlativa «fallacia della negazione dell'antecedente»:

$$((p \supset q) \cdot \sim p) \supset \sim q \qquad (3)$$

Viceversa, costituisce un'argomentazione formalmente corretta quella del *modus tollendo ponens* della somma logica:

$$((p \vee w) \quad \sim p) \supset w \qquad (4)$$

In altri termini, se, poniamo, in base alle ipotesi $p$ della teoria newtoniana della gravitazione, affermo $q$, ovvero che un certo pianeta al momento $t$ si trovi nella posizione $z$, se puntando il canocchiale al momento $t$ verso quella posizione $z$ *falsifico* $q$ ($\sim q$) non trovo cioè il pianeta, in base alla (2), la teoria $p$ risulterebbe formalmente falsificata. Viceversa il fatto di trovarvi il pianeta, ovvero la verifica di $q$, per la fallacia di (1) non verifica $p$. Infatti, un'altra teoria diversa da $p$ (p.es., la teoria della relatività generale) potrebbe ugualmente implicare correttamente $q$[87].

---

[87] L'esempio non è del tutto calzante, perché come sappiamo, grazie al «principio di equivalenza» (Cfr. sopra, p. 141), la teoria gravitazionale della relatività implica quella ne-

L'uccisione del neo-positivismo logico ad opera del falsificazionismo popperiano

È questo il nucleo della teoria falsificazionista di Karl Raimund Popper (1902-1994) che ha costituito «d'arma» logico–formale con cui questo antico frequentatore del Circolo di Vienna ha perpetrato la sua «uccisione del neo–positivismo logico», come egli stesso si vanta nella sua *Autobiografia intellettuale* (Popper 1978), a partire dall'opera che lo rese giustamente famoso, *Logica della scoperta scientifica* (Popper 1934). Attraverso l'appropriata applicazione di regole di falsificazione empirica delle teorie, la scienza allora evolverebbe come procedura auto–correggentesi di approssimazione alla verità. Di qui la sua concezione della storia della scienza, espressa nell'altra sua opera *Congetture e confutazioni* (Popper 1963), come una sequenza di congetture falsificabili, seguite dalla loro confutazione, per proporre poi nuove, più potenti congetture falsificabili, e così via indefinitamente.

Falsificabilità come criterio di demarcazione fra scienza e non-scienza

Ciò che per Popper caratterizza le teorie scientifiche rispetto a ciò che non è scienza, in particolare come «criterio di demarcazione» rispetto alle «teorie metafisiche» considerate dal neo–positivista come sinonimo della negazione della scienza, è dunque non il fatto che gli enunciati scientifici si accompagnano sempre alla definizione di un metodo per la loro verifica sperimentale, bensì ad un metodo per la loro «falsificazione» sperimentale. Ciò che in ciascuna epoca storica noi definiamo «scienza» è dunque soltanto un insieme di argomentazioni ipotetiche falsificabili e (non ancora) falsificate.

Limiti ontologico e logico del falsificazionismo

Malgrado il fascino che le teorie popperiane hanno esercitato sul comune sentire delle persone della nostra epoca verso la scienza, un fascino non alieno dalle conseguenze di filosofia politica che le sue teorie hanno giustificato[88], due conseguenze della sua teoria falsificazionista vanno messe in evidenza:

---

wtoniana come suo caso particolare. Propriamente quindi essa non è la negazione di $p$ del nostro esempio, ma un'ulteriore $r$ implicante $p$. Nello sviluppo della scienza le nuove congetture devono sempre includere le precedenti: solo così si ha effettivo progresso scientifico.

[88] A parte i meriti culturali, il successo di pubblico delle teorie popperiane è certamente legato al fatto che egli ha usato il suo falsificazionismo anti-metafisico come giustificazione di una concezione *liberista* della società che ha fatto sì che divenisse docente della prestigiosa *London School of Econmics*, e che quindi le sue teorie venissero strenuamente pubblicizzate per i propri fini di *deregulation* economica da vincoli etici e metafisici, dai cosiddetti «poteri forti» dell'economia liberista e iper–liberista di questi ultimi vent'anni. Nel suo famoso saggio *La società aperta e i suoi nemici* (Popper 1966) egli infatti afferma che da Platone a Marx, passando per il cristianesimo, tutti coloro che si oppongono agli ideali della società liberale moderna hanno sempre usato una concezione «essenzialista» della verità. La pretesa cioè di poter attingere mediante le loro «metafisiche» non–falsificabili ad una verità in qualche modo «eterna» e immodificabile, con cui bloccare le forze di progresso della scienza, della politica e dell'economia moderne.

- *Limite ontologico.* L'impossibilità per la scienza di attingere positivamente al reale. In base alla teoria falsificazionista, afferma Popper, le nostre teorie scientifiche possono essere certe di aver «toccato il reale» solo quando il controllo empirico falsifica la teoria, non quando la conferma. «Le nostre falsificazioni indicano i punti in cui abbiamo, per così dire toccato la realtà» (Popper 1969, 42. Cfr. anche Popper 1963, 201). Paradossalmente dunque, per il falsificazionismo, la scienza direbbe in maniera formalmente corretta solo ciò che la realtà non è, mai ciò che è veramente.
- *Limite logico.* L'impossibilità di definire procedure logiche consistenti per l'elaborazione di nuove ipotesi falsificabili, in seguito alla falsificazione delle precedenti. La definizione di nuove ipotesi viene paradossalmente abbandonata nel falsificazionismo a procedure irrazionali e, comunque, mai logicamente formalizzabili. Afferma testualmente Popper al riguardo:

> Le teorie sono libere creazioni della mente, risultato di un'intuizione quasi poetica, di un tentativo di comprensione intuitiva delle leggi di natura (Popper 1963, 330).
>
> Il mio modo di vedere la cosa — per quello che vale — è che non esiste alcune metodo logico per avere nuove idee e nessuna ricostruzione logica di questo processo. (...) Se con Reichenbach, distinguiamo tra una «procedura del trovare» e la «procedura del giustificare» un'ipotesi, dobbiamo dire che la prima procedura – *la procedura del trovare un'ipotesi H non può essere ricostruita razionalmente* (Popper 1959, 11.349).
>
> Una volta che ci troviamo ad affrontare un problema, procediamo con due tipi di tentativi: *tentiamo di indovinare, o congetturare*, una soluzione per il nostro problema, e tentiamo di confutare le nostre soluzioni che di solito sono piuttosto deboli (...). Il metodo migliore, se non il solo, per imparare qualcosa intorno a un problema, è quello di tentare di *risolverlo, prima, tentando di indovinare*, e quindi di isolare gli errori che abbiamo commesso (Popper 1963, 139-40).

**Difficile applicabilità del principio di falsificazione alle teorie scientifiche**

Esamineremo fra poco i motivi teoretici del fallimento di Hans Reichenbach di fondare una «logica della scoperta» e non solo «della prova» (o «della giustificazione») dall'interno del movimento neo–positivista. Circa, invece, la capacità dell'interpretazione falsificazionista del metodo ipotetico–deduttivo di offrire una procedura per «isolare gli errori», valga la seguente precisazione, fatta fra gli altri recentemente da W. Wallace nel suo libro *The modeling of nature* (Wallace 1996, 249). La cosiddetta «tesi di Duhem–Quine» esclude una simile capacità al falsificazionismo. Infatti, la complessità delle teorie scientifiche esclude che il metodo falsificazionista possa essere ridotto allo schema ultrasemplificato del *modus tol-*

*lens* di (2). Per la molteplicità delle premesse esistenti in una procedura ipotetico–deduttiva effettiva, l'argomento condizionale assume piuttosto la forma seguente:

$$(((p_1 \cdot p_2 \cdot \quad \cdot p_n) \supset q) \quad \sim q) \supset \sim p_? \qquad (5)$$

Ovvero, il non verificarsi di *q* non da e non può dare in linea di principio alcuna informazione utile per identificare quali e quante delle molteplici $p_n$ siano falsificate.

La condizione logica per usare le proposizioni empiriche come criterio di verificazione e non solo di falsificazione

D'altra parte è sempre Wallace a suggerirci correttamente che, se si vuole usare il riferimento empirico per *verificare* e/o *falsificare* ipotesi, se vogliamo cioè rendere validi non solo gli argomenti condizionali (2) e (4), ma anche argomenti condizionali del tipo di (1) e (3), bisogna che *in tutte* la premessa dell'argomento condizionale sia riscritta in forma *bi–condizionale*, $p \equiv q$, affermando cioè l'equivalenza di $p$ e $q$:

$$((p \equiv q) \quad q) \supset p \qquad (6)$$

$$((p \equiv q) \cdot \sim p) \supset \sim q \qquad (7)$$

In tal caso, però, nota giustamente Wallace, l'enunciato empirico non è più un enunciato che funge da sola condizione necessaria per *p*, ma anche sufficiente, come appare evidente se mettiamo insieme (6) con la riscrittura di (2) usando come premessa la forma bi–condizionale usata in (6):

$$((p \equiv q) \quad \sim q) \supset \sim p \qquad (8)$$

Il necessario passaggio che l'uso verificativo delle proposizioni empiriche implica, dalla logica della prova alla logica della scoperta

In tali riscritture, dunque, l'enunciato empirico *q* viene connotato mediante tale costruzione come *fondamento della verità* dell'enunciato ipotetico *p*, formalmente, diviene condizione necessaria (Cfr. (8)) e sufficiente (Cfr. (6)) per la verità di *p*. Ciò vuol dire, però, che non ci muoviamo più nel contesto della «logica della prova» di ipotesi, ma in quello della «logica della costituzione» di ipotesi. L'enunciato empirico non è usato più per un controllo successivo alla costituzione dell'ipotesi *p*. Diviene invece espressione indiretta, nei termini inadeguati della logica proposizionale, di una procedura di *costituzione dell'ipotesi*, quella che Popper, invero assai superficialmente, affermava essere impossibile definire logicamente in alcun modo.

Necessità di passare dalla logica delle proposizioni alla logica dei predicati

Il motivo dell'inadeguatezza della logica proposizionale, nel trattare i problemi di costituzione delle ipotesi, è che qui si sta lavorando sulla costituzione interna delle proposizioni stesse. Occorre perciò spostarsi, dalla formalizzazione dei linguaggi scientifici nei termini della sola logica proposizionale, in quello della formalizzazione dei medesimi nella *logica dei predicati*. Più esattamente, occorre spostarsi nell'ambito delle procedure sillogistiche di fondazione *veritativa* di premesse di argomentazioni ipotetiche, per contesti specifici.

Induzione costitutiva di ipotesi *vs.* induzione enumerativa di prova di ipotesi già costituite

In tale contesto, come la logica aristotelica aveva già intuito, sebbene in maniera ancora carente ed incompleta, diviene possibile definire logicamente procedure valide di *induzione costitutiva* di enunciati empirici veri, che fungano da premesse di successive argomentazioni ipotetiche — e, in certi casi specifici, anche apodittiche, non più basate però sulle sabbie mobili dell'*evidenza*. Ciò, come vedremo, costituisce il corrispettivo logico — di una logica *materiale* però, *contenutistica* e non solo *formale* — di quello che in epistemologia e psicologia definiamo *procedure astrattive di universali logici* da parte della mente intenzionale.

I limiti dell'induzione enumerativa e i fallimenti di Carnap e Reichenbach

Se Hans Reichenbach ha fallito nel suo tentativo di fornire una giustificazione logica delle «procedure di scoperta e/o d'invenzione» e dei metodi induttivi è perché, per la sua epistemologia empirista, ha cercato di fondare le sue procedure di scoperta sull'*induzione enumerativa*. I limiti del suo tentativo sono così gli stessi in cui Rudolph Carnap si è imbattuto nel suo tentativo, ugualmente fallito, di usare, nell'ambito della «logica della giustificazione» neo–positivista, l'induzione come «metodo di corroborazione» o «verifica probabilistica» d'ipotesi, nell'ambito del metodo ipotetico–deduttivo della scienza moderna.

*L'uso corroborativo del metodo ipotetico–deduttivo e i suoi limiti.*

Estensione «debole» del metodo ipotetico-deduttivo a metodo di verificazione

Malgrado tutti i suoi fallimenti, il movimento neo–positivista è riuscito ad imporre nella mentalità filosofico–scientifica del XX secolo il metodo ipotetico–deduttivo come *il* metodo della scienza moderna contemporanea, sia delle scienze naturali, sia di quelle umane. Ciò si deve al fatto che lo scienziato, nell'uso concreto del linguaggio formale che i logici matematici del XX secolo sono riusciti a mettere a sua disposizione, non usa la prova empirica esclusivamente come procedura di falsificazione d'ipotesi come sarebbe formalmente corretto, ma anche come procedura di *verificazione* di ipotesi, per quanto parziale, insufficiente e formalmente infondata possa risultare tale procedura nell'ambito della logica proposizionale. Lo schema di questo uso verificativo delle ipotesi, all'interno del metodo ipotetico–deduttivo può essere sintetizzato come segue (Wallace 1996, 248):

$$\lozenge\ (((p \supset (q_1 \cdot q_2 \cdot \quad q_n)) \quad (q_1 \cdot q_2 \cdot \quad \cdot q_n)) \supset p \qquad (9)$$

Estensione resa possibile mediante l'uso di operatori modali

Dove «◊» è un operatore modale che significa «possibilmente» — come opposto a «necessariamente» «  » — così che la formula schematica $\lozenge p \supset q$ sta per «*possibilmente* se $p$ allora $q$»[89]. Ovviamente, nel caso del metodo ipotetico–deduttivo, maggiore è il numero delle conseguenze empiriche verificate, maggiore è la possibilità che $p$ sia vera. Di fatto oggi nella scienza si opera secondo questo schema: più cresce il numero delle verifiche sperimentali di una certa teoria, più aumenta la confidenza degli scienziati nella verità degli assiomi ipotetici della teoria stessa.

Uso verificativo del metodo ipotetico–deduttivo e calcolo delle probabilità

Rudolph Carnap (1891-1970) è l'esponente del neo–positivismo logico che più si è sforzato di dare dignità scientifica a questo uso verificativo così diffuso nella pratica scientifica del metodo ipotetico deduttivo, tentando di applicare ad esso i principi della teoria matematica della probabilità. Nel calcolo elementare della probabilità, si cerca di definire la probabilità $P$ che un certo evento $u$ accada (p.es., l'uscita di un certo numero, mettiamo, 3) dato un altro evento $v$ (p.es., il lancio di un dado). Ciò si suole esprimere definendo la funzione di probabilità $P(u, v)$. È chiaro che la *probabilità a priori* che il nostro evento accada nel caso esemplificativo del lancio del dado è uguale a 1/6, essendo solo sei le facce del dado.

Perché tutto ciò sia vero, occorrono due condizioni: che i possibili stati d'uscita siano comunque in un numero *finito* (le sei facce del dado), e che gli eventi $u$ siano tra loro indipendenti (che il dado non sia truccato). Una delle più entusiasmanti leggi del calcolo delle probabilità è quella che va sotto il nome di «legge dei grandi numeri». Se io tirassi il dado un numero non eccessivamente grande di volte, è ovvio che la *frequenza* $F$ o *probabilità a posteriori* con cui il desiderato numero 3 di fatto esce potrebbe essere molto diversa da quella calcolata a priori. P.es., su venti volte che lancio il dado, il tre potrebbe non uscire mai ($F = 0$) o uscire una volta soltanto ($F = 1/20$). È chiaro che più aumento il numero dei lanci, più la pobabilità a posteriori approssimerà quella a priori. Infatti la «legge dei grandi numeri», scoperta da Gauss e che è alla base di tutta la moderna teoria della probabilità, garantisce che per un grandissimo, ed al limite infinito, numero di eventi (lanci), ovvero per $v \rightarrow \infty$, $F = P$.

Dal calcolo delle probabilità alla logica

Se ora sostituiamo proposizioni ad eventi, il «possibilmente» di (9) potrebbe essere significativamente sostituito con il «probabilmente» del calcolo delle probabilità. In tal modo, si potrebbe in linea di principio calcolare la funzione di probabilità della verità della proposizione $p$ in di-

---

[89] Nella logica proposizionale ordinaria non c'è bisogno di specificare questi operatori, in quanto l'unica modalità consentita è quella della necessità: «*necessariamente* se $p$, allora $q$».

pendenza dal numero di evidenze sperimentali $q$ apportate alla teoria, cioè la probabilità della verità di $p$ data la verità di $q$, $P(p, q)$. Ciò diviene simbolicamente più chiaro se sostituiamo $p$ con $h$ di «ipotesi» e $q$ con $e$ di «evidenza (sperimentale)», $P(h, e)$. Ma allora si può sostituire anche $P$ con la $C$ di Carnap, che sta per «conferma» o, più esattamente «corroborazione». Avremmo quindi $C(h, e)$, che è una funzione che esprime il grado di corroborazione (o conferma della verità) di $h$, data $e$.

Applicazione della legge di Bayes alle procedure di verificazione e suoi limiti

A questo punto, per esprimere compiutamente la (9) in questo formalismo, abbiamo bisogno di una legge del calcolo delle probabilità che esprima la funzione di probabilità $P$ di un evento $u$ come effetto di eventi congiunti $v_1, v_2, \ldots$ dati cioè insieme. Tale legge è la cosiddetta «legge di Bayes», dal nome del suo scopritore Thomas Bayes nel 1763. Nel caso ipersemplificato di due soli di questi eventi tale legge delle probabilità congiunte si scriverà $P(u, v_1 \cdot v_2)$. In tal modo, l'isomorfismo fra la (9) e la $C(h, e_1 \cdot e_2 \cdot \ldots e_n)$ di Carnap sarebbe completo. Avremmo cioè una funzione che calcola la variazione del grado della probabilità della verità — grado di conferma o *corroborazione* — di un'ipotesi $h$ in dipendenza dell'insieme dell'evidenza sperimentale via, via apportata a conferma.

Malgrado le apparenze, ciò non è tuttavia vero. Le assunzioni che rendono valida la legge di Bayes sono infatti assai difficilmente soddisfacibili nel caso della funzione di corroborazione di Carnap (Wallace 1996, 262).

- Innanzitutto, è molto difficile comprendere come proposizioni, e proposizioni che si riferiscono a concetti teorici come $h$, siano formalizzabili come *semplici eventi*.
- Secondariamente appare molto difficile soddisfare alla condizione che tali proposizioni siano *in numero finito*.
- Infine è molto difficile supporre che esse soddisfino alla *condizione dell'equiprobabilità*.

Ha ben ragione Wallace a stupirsi di come, malgrado queste evidenti limitazioni, il metodo bayesiano abbia una così larga applicazione in ogni campo delle scienze, tanto naturali che umane. Ma tant'è: il bisogno di verificare ipotesi è uniformemente diffuso nelle scienze di qualsiasi tipo e il metodo ipotetico–deduttivo non può offrire nulla di sostanzialmente migliore.

Lo sfondo convenzionalista dell'ontologia empirista

L'alternativa, infatti, sarebbe quella di un *radicale convenzionalismo* nella scienza, un convenzionalismo che può soddisfare il filosofo della scienza, ma non certo lo scienziato naturale che si confronta continuamente col reale, ma che purtroppo, all'interno del metodo ipotetico–deduttivo, non ha alcuna argomentazione valida da poter opporre al filosofo con-

venzionalista per giustificare la sua convinzione di realismo. Si comprende allora la proclamazione di radicale convenzionalismo nella scelta delle ipotesi che Rudolph Carnap enuncia nella sua *Logische Sintax der Sprache* come *Toleranzprinzip der Syntax* («principio di tolleranza della sintassi») o «principio di convenzionalità».

> Noi non vogliamo porre divieti, ma fare convenzioni (...). In logica non c'è morale, ciascuno può costruire come vuole la sua logica, cioè la sua forma di linguaggio. Ma se egli vuole discutere con noi, deve indicare come la vuol fare, dare cioè determinazioni sintattiche, invece che discussioni filosofiche (Carnap 1934, 44s.).

Non per nulla, alcuni anni prima, nel «Manifesto Scientifico» del Circolo di Vienna, pubblicato dallo stesso Carnap insieme con Otto Neurath nel 1929, si affermava esplicitamente:

> Tutto è accessibile all'uomo e l'uomo è misura di tutte le cose. In ciò si riscontra un'affinità coi sofisti, non con in platonici, con gli epicurei e non con i pitagorici, con tutti i fautori del mondano e del terreno.

### 4.2.2.4 Gli epigoni di Popper

Sulla medesima linea di critica all'induttivismo neo–positivista e di un'ontologia essenzialmente convenzionalista rispetto alla scienza, si muovono i tre principali epigoni del falsificazionismo popperiano, tutti e tre orientati su un approccio *storicista* alla filosofia della scienza: T. S. Kuhn, I. Lakatos e P. K. Feyerabend.

*La struttura delle rivoluzioni scientifiche di T. S. Kuhn*

I fattori storico–culturali dominanti nella storia della scienza nella teoria di Kuhn

Thomas Samuel Kuhn (1922-1996) è stato uno dei principali storici e filosofi della scienza americani dell'ultimo quarto del XX secolo. Professore alle più prestigiose università americane (Harvard, Berkeley, Princeton e al MIT di Boston), ha contribuito a dare alla filosofia della scienza del falsificazionismo popperiano una prospettiva essenzialmente storicista. Fisico di formazione, nella sua elaborazione di storia della scienza ne ha evidenziato il legame con la storia della cultura, sottolineando i fattori psicologici e sociali che, molto più che il contatto con la realtà determinano lo sviluppo dell'impresa scientifica.

Paradigmi scientifici e cambio di paradigmi

Nel suo scritto metodologico più importante, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* del 1962, Kuhn ha presentato la storia della conoscenza scientifica come una serie di periodi (detti di *scienza normale*) di ricerca basata su alcune acquisizioni della scienza del passato (paradigmi), alle quali la comunità degli scienziati riconosce il carattere di fondamento della propria ulteriore attività di indagine, e di periodi di crisi (detti di *scienza straordina-*

*ria*), durante i quali anomalie insolubili da parte del paradigma accettato conducono alla sua sostituzione con un nuovo paradigma (*rivoluzioni scientifiche*. Cfr. (Kuhn 1962)).

L'incommensurabilità delle teorie scientifiche e il ruolo decisivo dei fattori psico–sociali nei cambi di paradigma

Sostenendo *l'incommensurabilità delle teorie scientifiche rivali* proprio per l'impossibilità della scienza ipotetico–deduttiva di attingere al reale così da usare esso come arbitro della validità delle teorie contrapposte — gli assiomi ipotetici delle teorie rivali non derivano dal confronto con la realtà, il controllo delle ipotesi mediante misurazioni empiriche è «imbevuto di teoria», perché dipende criticamente dagli assiomi di misura propri di ciascuna teoria, in base a i quali si sono costruiti e/o tarati gli strumenti di misura stessi — Kuhn ha sostenuto che la scelta delle teorie durante i cambiamenti concettuali è guidata in modo determinante da fattori psicologici e sociali.

*I programmi di ricerca scientifica di I. Lakatos*

Fattori logico-razionali decisivi allo sviluppo della scienza

Lo storico e filosofo della scienza ungherese Imre Lakatos (1922-1974) di Popper fu addirittura prima alunno e poi collaboratore, applicando innanzitutto i principi del falsificazionismo popperiano alla storia della matematica. Sebbene anch'egli si muova in un'ottica epistemologica essenzialmente storicista, a differenza di Kuhn egli sottolinea gli aspetti *logico–razionali* della ricerca scientifica come determinanti il suo sviluppo, piuttosto che quelli psicologici e sociali.

La teoria dei «programmi di ricerca» e la critica all'uso dogmatico del falsificazionismo

A questo scopo, negli anni '70, egli perfezionò una sua originale teoria dello sviluppo della scienza basata sulla nozione dei *programmi di ricerca* (Lakatos 1974; 1998). Secondo questa teoria, la scienza cresce non attraverso la successione di singole teorie confutabili, ciascuna sostituita da quella successiva secondo i principi del «falsificazionismo dogmatico». Il falsificazionismo dogmatico infatti dimentica che le medesime ragioni per cui non è possibile usare la prova empirica per verificare teorie, portano a porre in crisi l'uso della prova empirica per confutare in maniera assoluta una teoria. La tesi di Duhem–Quine anche da noi ricordata (Cfr. sopra, p. 248) è uno dei principali ostacoli a quest'uso dogmatico in senso falsificazionista della prova empirica. Quale asserto di quelli che compongono l'insieme di assiomi della teoria la «prova empirica» falsifica? Ed ancora, dato il carattere probabilista di ogni teoria scientifica, un solo esperimento fallito non falsifica alcunché, non è la «prova empirica» confutante che cercavamo. Quanti e di che tipo devono essere allora i controlli empirici per costituire «la prova empirica» falsificante che cercavamo? Come si vede gli stessi argomenti che si possono portare contro l'uso verificativo dell'osservazione empirica potrebbero essere portati contro l'uso falsificativo di essa.

Il fallibilismo o uso metodologico, non dogmatico, del falsificazionismo alla base dello sviluppo di «programmi di ricerca» nella scienza

Di qui l'idea che invece del falsificazionismo dogmatico bisogna usare un *falsificazionismo metodologico,* o *fallibilismo,* e che anzi quest'ultimo sia il modo giusto d'intendere lo stesso falsificazionismo popperiano. Tale falsificazionismo considera come nucleo dello sviluppo della scienza non la successione di singole teorie, ma la definizione di *programmi di ricerca* che includono molteplici teorie scientifiche tutte unificate dall'uso di comuni regole metodologiche, tanto logiche quanto empiriche, e dal comune credo fallibilista. All'interno di tali programmi, le teorie vengono create e sostituite, non secondo i rigidi canoni del falsificazionismo dogmatico, ma secondo il criterio fondamentale del fallibilismo popperiano, quello secondo cui, «a parità di condizioni» — ma quali sono i criteri per giudicare di questa parità?, si domanda Lakatos, sempre al fine di evitare l'uso dogmatico del falsificazionismo — è preferibile la teoria che nel modo più semplice riesce a dar conto della maggior quantità di contenuto empirico. È questa dei «programmi di ricerca» la nozione-chiave per comprendere la scienza come *costruzione razionale* di teorie, e non come semplice effetto di condizionamenti psico–sociali o socio–culturali come nell'approccio di Kuhn.

*L'anarchismo metodologico di P.K. Feyerabend*

Le conseguenze estreme, ma coerenti del convenzionalismo e del falsificazionismo nell'anarchismo metodologico di P. K. Feyerabend

Dei tre più famosi seguaci del falsificazionismo popperiano, quello che più di ogni altro è stato sfrontato quanto sincero nel tirare le estreme conseguenze del convenzionalismo ontologico e del falsificazionismo metodologico è stato il filosofo e storico della scienza austriaco Paul K. Feyerabend (1924-1994), anch'egli a lungo professore a Berkeley in California dove è stato acclamato come uno dei «profeti» del *new deal,* della «nuova frontiera» americana degli anni '60–'70.

Partendo da una rigorosa accettazione del principio dell'*incommensurabilità delle teorie scientifiche* comune anche a Kuhn, nella sua opera più famosa, *Contro il metodo* di cui si conoscono diversi rifacimenti (Feyerabend 1973), l'ultima delle quali risale al 1975, egli arriva a negare l'esistenza di un *metodo scientifico rigoroso* (né il verificazionismo, per i motivi ricordati da Popper, né il falsificazionismo per i motivi ricordati da Kuhn e Lakatos) possono assurgere a criteri ultimi di demarcazione fra *scienza* e *non-scienza.* Per quali motivi allora, si continua a riconoscere nel mondo contemporaneo uno statuto superiore alla *conoscenza e tradizione scientifica* rispetto ad altre forme di conoscenza e di trasmissione del sapere, quale l'arte, la religione o la stessa magia?

L'anarchismo metodologico è conseguenza necessaria del falsificazionismo e antesignano del «pensiero debole»

La forza dell'argomentazione di Feyerabend, per quanto paradossale e provocatoria essa sia e voglia essere, è che non esistono argomenti ultimi per confutare l'anarchismo metodologico, nell'ambito del *metodo falsificazionista* (o fallibilista che sia) e di un'*ontologia convenzionalista* quale deriva dalla metafisica ed epistemologia empirista del trascendentalismo moderno. Quell'ontologia comune tanto alla filosofia della scienza neopositivista, quanto a quella del «falsificazionismo» popperiano e neopopperiano di Kuhn e Lakatos. In questo senso Feyerabend può essere definito uno dei primi e più seguiti rappresentanti del «pensiero debole» che tanta fortuna — interessata e finanziata da parte dei poteri economici costituiti: dove regna l'anarchia è solo la legge del più forte (dei «poteri forti») ad imporsi — ha avuto in questi ultimi anni, soprattutto in Italia, terra di «scorrerie» barbariche — politiche, economiche e culturali — negli ultimi trent'anni del XX secolo.

Dalla logica della giustificazione della verità di proposizioni ipotetiche alla logica della scoperta o della costituzione di proposizioni vere

Come già abbiamo notato, per poter sperare in qualcosa di meglio, e fare della convinzione di realismo dell'impresa scientifica non un *atto di fede*, ma il risultato di *un'argomentazione razionale*, occorre spostarsi da una *logica della giustificazione* o della prova (metodo assiomatico) di ipotesi, in cui il controllo empirico può avere funzione essenzialmente di falsificazione di ipotesi, ad una *logica della costituzione di ipotesi* (metodo analitico), in cui il riferimento all'esperienza e, mediante essa, alla realtà, entri a livello non di controllo delle ipotesi già costituite, ma di *costituzione delle proposizioni ipotetiche stesse* (Cellucci 1998). Integrando opportunamente:

- *funzione verificativa* dall'esperienza, al *livello costitutivo* delle ipotesi, secondo le procedure del *metodo analitico*, e
- *funzione falsificativa* dall'esperienza, al *livello di prova* delle medesime già costituite, secondo le procedure del *metodo ipotetico–deduttivo*,

l'avvenuta falsificazione potrebbe fungere da segnale di quando sia arrivato il momento di cambiare ipotesi e quindi di ritornare alla funzione costitutiva, e così via, in una sorta di procedura ricorsiva metalogica di fondazione di ipotesi scientifiche *sempre più vere*, sempre più adeguate, ma comunque sempre limitatamente a certi contesti.

Per questo, però, occorre estendere la nostra analisi logica all'interno delle proposizioni stesse, al livello cioè di *logica dei predicati* e non più *delle proposizioni*, come finora si era svolta l'analisi all'interno del solo metodo ipotetico–deduttivo. Beninteso, però, in un accezione della logica dei predicati *semantica* e non solo sintattica, di logica *contenutistica* (intensionale, logica delle proprietà) e non solo *formale* (estensionale, logica delle classi. Cfr. nota 83 p. 238).

Prima però di affrontare questo tema, conviene chiarire un ulteriore punto, fondamentale per comprendere i limiti del metodo ipotetico–deduttivo da un altro punto di vista, fondamentale per noi. Occorre esaminare cioè se i limiti del metodo ipotetico–deduttivo di attingere al reale e che abbiamo già incontrato in Popper, siano limitati al falsificazionismo oppure siano costitutivi dell'approccio medesimo e del suo sfondo epistemologico empirista.

## 4.3 Limiti ontologici del metodo ipotetico–deduttivo

I limiti ontologici del metodo ipotetico–deduttivo e i limiti ontologici dell'empirismo moderno

Dalla storia della filosofia sappiamo come la teoria rappresentazionale della conoscenza, tanto nella sua forma empirista (Locke, Berkeley, Hume), tanto nella sua forma razionalista (Descartes, Leibniz), come nella forma kantiana, trascendentale che sintetizzava ambedue, era ben conscia che oggetto della propria conoscenza non è la *realtà* (la «cosa in sé» di Kant), ma le *rappresentazioni* (sensazioni, per l'empirista, concetti per il razionalista, fenomeni per Kant) di essa all'interno della coscienza. Non diversamente per l'ontologia del metodo ipotetico–deduttivo: in essa resta gravemente problematica la referenza agli oggetti extramentali dei nomi che costituiscono l'estensione dei predicati, nonché dei predicati stessi.

Nozione formalista di esistenza nei metodi deduttivi

Più esattamente, nel metodo ipotetico–deduttivo, nel metodo assiomatico, e più generalmente in tutti i metodi deduttivi, affermare l'esistenza di qualcosa, altro non è che vincolare mediante gli opportuni quantificatori le variabili libere delle relative funzioni proposizionali del calcolo logico dei predicati. Nei termini della logica scolastica classica, non si può andare oltre il nominalismo dei logici classici del tardo Medio Evo, da Ockam in poi. È questa la tesi fondamentale del più famoso ed ascoltato rappresentante dell'empirismo logico contemporaneo tuttora vivente: il logico di Harvard Wilard Van Orman Quine.

L'ontologia dell'empirismo logico in un saggio di Quine

In un suo classico saggio, completamente dedicato all'ontologia soggiacente al metodo ipotetico–deduttivo, *Sticks and stones: or the ins and the outs of existence* («Bastoni e pietre: l'interno e l'esterno dell'esistenza») (Quine 1984), il filosofo e logico americano sintetizza la sua ontologia secondo il seguente schema:

| L'ontologia dell'empirismo logico | | | |
|---|---|---|---|
| **Primo Livello: Riferimento Oggettivo** | | **Secondo Livello: Processamento Verbale** | |
| **Ontologia Ordinaria: Aspettative Condizionali** | **Ontologia Scientifica: Valori delle Variabili di Funz. Propos.** | **Logica** | **Grammatica** |
| CORPI «Fido» «Sedia» «Bastone» | INDIVIDUI «osservabili» «inosservabili» | PREDICATI TERMINALI monoargomentali biargomentali triargomentali | PAROLE Sostantivi, particelle congiunzioni pronomi relativi |
| SOSTANZE «Latte» «Cane» «Pietra» | OGGETTI FISICI «Organismo» «Elettrone» «Particella» «Campo» | PREDICATI PROPOSIZIONALI negazione congiunzione implicazione | CONTESTI PROPOSIZIONALI Soggetti Predicati |
| ATTRIBUTI «Bianco» «Tuono» «Lampo» | OGGETTI ASTRATTI «Numero» «Proprietà» «Classe» | VARIABILI, QUANTIFICATORI «Per tutti gli *x*» «Per qualche *x*» «un *x* tale che» | ASSENSO DISSENSO «Si, No» «Sempre, Ovunque» «Tutto «Qualcosa» |
| NON-ESISTENTI «Pegaso» «Unicorno» | INTERPRETAZ. RIDUTTIVE «Successioni di classi» «Porzioni di spazio-tempo» | FUNZIONI DI PROSSIMITA' «La *f* di un...» | TRADUZIONI «Numero» «Number» «Nombre» «Zahl» |
| «L'imperscrutabilità della referenza» | | | |

Tavola II: L'ontologia dell'empirismo logico secondo Quine (Cfr. Wallace 1996, 315).

Ontologia ordinaria e ontologia scientifica

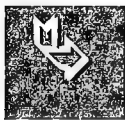
Secondo i principi dell'empirismo logico, non esistendo alcuna teoria di come si vengono a *costituire* i simboli nel nostro universo di discorso in riferimento agli enti che essi *denotano* (v. *denotazione**) e/o *connotano** (v. *connotazione**), l'unico approccio possibile all'ontologia è quello di

compiere un'analisi logica del nostro discorso sul mondo, da un *duplice* punto di vista:

- Dal punto di vista del linguaggio ordinario che produce il mondo del senso comune, o ontologia ordinaria
- Dal punto di vista del linguaggio scientifico che produce un universo più complesso, quello, appunto di cui ci parla la scienza, o ontologia scientifica

In ambedue i casi, proprio perché è *sistematicamente impossibile* per l'approccio neo–positivista produrre una teoria di come si costituiscono i *simboli linguistici* a partire dagli enti cui, una volta costituiti, questi simboli stessi *si riferiscono*, il problema della referenza agli oggetti extralinguistici diviene un *problema intrattabile*, come appare dall'ultima riga («imperscrutabilità della referenza»)delle due colonne di sinistra della Tavola II.

Definizione del termine «ontologia» in rapporto al termine «metafisica»

Innanzitutto, definiamo cosa s'intende col termine *ontologia*. Generalmente può risultare difficile distinguerla dal termine più classico di *metafisica*. Tutt'e due queste discipline filosofiche infatti hanno come oggetto una teoria sistematica ed al limite *dimostrativa* e quindi *scientifica* dell'essere, «scientifica» nel senso che ne abbiamo dato nella Definizione 4 di p. 235. La differenza fondamentale fra il termine moderno di «ontologia» e il termine classico di «metafisica» viene dunque generalmente intesa come legata al fatto che, mentre con metafisica si intende la «scienza dell'essere *in quanto essere*», con ontologia si intende la «scienza dell'essere *in quanto conoscibile*». L'ontologia ha dunque un'accezione più marcatamente *epistemologica* legata, ultimamente, alla distinzione fra trascendentale moderno e trascendentale classico di cui ci occuperemo fra poco (Cfr. *infra* § 5.6, pp. 381ss.).

### Definizione 6

**Con «ontologia» s'intende generalmente una ricerca filosofica sulle strutture fondamentali dell'essere dell'ente, strettamente legata all'indagine epistemologica. La possibilità di un'ontologia come scienza riposa sul presupposto che, al di là degli attributi specifici e particolari di ciascun ente o di ciascuna classe di enti, sui quali vertono le indagini delle scienze particolari, sussistano determinazioni comuni e necessarie, costitutive di ogni ente in quanto tale.**

In particolar modo, nell'indagine neo-positivista, è riconosciuta una funzione fondamentale o almeno preliminare dell'ontologia, nel senso che la costruzione di ogni sistema linguistico presuppone la determinazione univoca del significato che si intende attribuire alle affermazioni di esistenza. In questo senso va interpretata anche la posizione di Quine che ora ci accingiamo a sintetizzare.

Ontologia ordinaria e funzione costitutiva delle regole grammaticali del linguaggio ordinario secondo Quine

Per quanto riguarda l'*ontologia ordinaria*, la posizione di Quine può essere sintetizzata prendendo in esame la colonna prima e quarta della Tavola II. In pratica Quine afferma che il bambino durante l'età evolutiva, grazie all'apprendimento delle strutture grammaticali della sua lingua, apprendendo innanzitutto a nominare oggetti, è stimolato ad attribuire natura di corpi individuali ad oggetti della sua esperienza ordinaria quali «Fido», «la sedia», «il bastone». In seguito, cominciando ad articolare proposizioni, diviene capace, grazie alla distinzione essenziale soggetto–predicato, di distinguere diverse nature di sostanza corporea agli oggetti della sua esperienza ordinaria, tipo «latte», «cane», «pietra» (p.es., «Fido è un cane», «il sedile è di pietra», etc.). Il passaggio a quello che è il nucleo del susseguente discorso razionale, scientifico o filosofico che sia, è dato quando, mediante l'apprendimento di strutture grammaticali che rendono il bambino capace di produrre asserzioni, viene acquisita la distinzione metafisica e metalogica fondamentale sostanza–accidente e dunque soggetto–attributo. Il bambino cioè diviene capace di asserire l'affermazione (o la negazione) di enunciati quantificati tipo «il latte è (sempre) bianco», «qualche sedia è di pietra», etc.. In altre parole, il bambino diviene capace di distinguere ciò che è essenziale e *necessario* da ciò che è *accidentale* e dunque *contingente* riguardo alle proprietà degli oggetti della sua esperienza ordinaria. La scienza ed il discorso razionale in generale cominciano da qui.

Indole formalista dell'ontologia ordinaria di Quine

Come si noterà, è operante nell'ontologia del neo–positivismo logico quell'epistemologia trascendentale di tipo kantiano che notavamo fin dall'opera di Wittgenstein trasferita su un piano strettamente linguistico. E cioè è operante il principio di far dipendere le strutture degli oggetti, e al limite le loro stesse proprietà metafisiche, dagli a–priori del soggetto conoscente, in questo caso dagli a–priori linguistico–grammaticali appresi dall'ambiente. Non sono dunque le *relazioni reali* (causali) fra gli oggetti a fondare le *relazioni logiche* fra i simboli del discorso, ma viceversa. Se possibile quest'istanza diviene ancora più dominante nell'esame che Quine fa dell'*ontologia scientifica*.

I principi dell'ontologia scientifica di Quine

L'ontologia scientifica secondo Quine è descritta dalle due colonne più interne della Tavola II. Se nucleo dell'analisi ontologica neo–positivista è l'esame del valore semantico da attribuire alle affermazioni di esistenza, in questo caso, alle affermazioni di esistenza del linguaggio scientifico,

non deve sorprendere che tutta l'ontologia scientifica di Quine si riduca alla famosa massima, «essere è essere il valore di una variabile».

L'ontologia scientifica si riduce così all'individuazione di quelle condizioni logiche che rendono consistente, caso per caso, il vincolare mediante l'opportuno quantificatore universale («per tutti gli *x* vale la proprietà *P*(*x*)») o esistenziale («esiste un *x* tale che vale la proprietà *P*(*x*)») la variabile (*x*) o le variabili libere di una determinata funzione preposizionale. In base a tali principi, nell'ontologia scientifica si distinguono:

- fra vari tipi di oggetti *individuali*, osservabili e non (se i relativi enunciati vanno quantificati individualmente «per un *x* tale che...»);
- fra i vari tipi di oggetti *collettivi* comuni a più individui, come «organismo», «elettrone», etc. (se i relativi enunciati vanno quantificati come collezioni «per qualche *x* tale che...»);
- fra i vari tipi di oggetti *astratti*, come «numero», «proprietà», «classe», etc. (se i relativi enunciati vanno quantificati universalmente «per ogni *x* tale che...»).

Mediante poi i relativi «connettivi» o «predicati proposizionali», come «non», «e», «implica», etc., i singoli asserti così costituiti vengono articolati in discorsi più complessi ed, al limite, in teorie scientifiche. Attraverso tali teorie la scienza costruisce le sue interpretazioni della realtà che sono di solito «riduttive», nel senso di tentare di spiegare il complesso mediante nozioni più semplici. P.es., il numero mediante la nozione di classe e di «classe di classi», un oggetto fisico come ciò che occupa una certa «porzione di spazio–tempo», etc.

Il ruolo centrale delle «funzioni di prossimità» nell'ontologia scientifica secondo Quine

Una particolare curiosità desta nel lettore l'ultima riga della colonna «logica» della Tavola II, quella che riguarda ciò che Quine definisce come *proxy functions*, «funzioni di prossimità», schematicamente definita da Quine come «da *f* di...», p.es., «da *f* di un cane», «da *f* di un numero primo», etc.. Grazie a queste funzioni, si possono costituire isomorfismi, corrispondenze biunivoche, fra oggetti del linguaggio ordinario e oggetti di uno o più linguaggi scientifici. Per esempio, ogni oggetto fisico del linguaggio ordinario può essere concepito come il contenuto materiale di una determinata localizzazione spazio–temporale. In tal caso la funzione di prossimità diviene «il posto di». In questo modo si può rimpiazzare ogni istanza di un determinato predicato «da *x* di *P*» (= «*x* è un bastone») con la sua funzione di prossimità «*x* è la localizzazione spazio–temporale di un bastone».

Ciò consente di sostituire il termine denotante l'oggetto «bastone» del linguaggio ordinario con termini scientifici, relativi ad altre connotazioni,

tipo «aggregato di molecole», o «di atomi», oppure mediante termini scientifici ancora più astratti, come «campi di forze». Tutte queste connotazioni sono comunque caratterizzate da una medesima funzione di prossimità che determina una stessa posizione spazio–temporale e consente, quindi, l'interscambiabilità fra termini ordinari e scientifici. Con diverse funzione di prossimità, caratterizzate da particolari *n*–ple di argomenti, possiamo, poi, definire oggetti più astratti, come per esempio «insiemi», «classi», «numeri», etc.

L'ontologia formalista soggiacente all'ontologia scientifica dell'empirismo logico

Come si vede, siamo in un approccio puramente *estensionale, formalista* all'ontologia. In fondo per Quine domandarsi di quali oggetti una persona sta parlando, significa semplicemente tradurre i suoi termini nei nostri, in modo che *la struttura di relazioni logiche* nei due linguaggi sia preservata, ma senza alcuna possibilità di attingere ai *contenuti semantici extra-linguistici* dei medesimi. Ciò che conta è di preservare la *struttura del discorso*, gli oggetti sono semplicemente funzionali al mantenimento di queste corrispondenze puramente formali. È insomma come se alla fatidica domanda su «a cosa mi riferisco col termine 'bastone'?» si potesse solo rispondere, p.es., da parte del fisico chimico «Ciò a cui tu ti riferisci col termine: «Bastone» è ciò a cui io mi riferisco col termine: «quel dato aggregato di molecole»» e quindi ad analoga domanda posta dal fisico–chimico si rispondesse, p.es., da parte del fisico–atomico «Ciò a tu ti riferisci col termine: «quel dato aggregato di molecole» è ciò a cui io mi riferisco col termine: «quel dato aggregato di atomi»», e così via all'infinito, senza che nessuno possa mai valicare il muro linguistico dei «nomi» per indagare ciò che essi effettivamente denotano extra–linguisticamente. È questo il problema insormontabile definito da Quine dell'«imperscrutabilità della referenza».

Ci si muove dunque, col neo–positivismo nell'ambito di un'*ontologia formalista*[90] dell'essere, come quella kantiana, come vedremo fra poco. Nei termini resi famosi da Frege: dire «*x* esiste» in questa ontologia equivale a dire «qualche *x* appartiene ad *y*». Ovvero, affermare l'esistenza di un oggetto si riduce ad affermare l'appartenenza di quell'oggetto ad una classe consistente di oggetti ed, al limite, ad una successione di classi equivalenti definite in diversi linguaggi, senza la possibilità di uscire mai da questo reticolo di equivalenze (Cfr. *infra*, § 4.5.1, p. 290s.) Per dirla nei termini Quine:

---

[90] L'ontologia formalista non va invece confusa con la contemporanea *ontologia formale*, ben attenta invece agli aspetti *contenutistici* della conoscenza e dei linguaggi ed al conseguente uso di logiche intensionali, grazie all'influenza che ha giocato sulla nascita di questa nuova disciplina la filosofia husserliana e in genere la fenomenologia, oltre che un attenta considerazioni degli apporti della logica medievale e della teoria delle *suppositiones*. Cfr. www.formalontology.it .

> Gli oggetti servono come meri «nodi» nella struttura, e questo è vero dei bastoni e delle pietre non meno degli elettroni, dei quark, dei numeri e delle classi (Quine 1984, 24).

La scienza, di fatto, ha solo una cosa da portare avanti: il proprio discorso, le proprie affermazioni,

> affermazioni vere, speriamo; verità che riguardano la natura. Gli oggetti, o i valori delle variabili, sono solo punti di riferimento lungo il cammino e noi possiamo permutarli o sostituirli a piacimento *nella misura in cui la struttura di enunciato–ad–enunciato sia preservata* (Quine 1984, 54).

Il problema della referenza reale ad oggetti extra–linguistici può essere risolto solo a livello di costituzione del simbolo «vero» e non di giustificazione della verità di un simbolo già costituito

L'illustrazione dell'ontologia di Quine serve così a noi per un preciso scopo. Ad evidenziare, come già accennavamo all'inizio di questa sotto–sezione, che il problema della referenza extra–linguistica dei nostri asserti e quindi il problema dell'«essere» come oggetto della metafisica diviene intrattabile, portando ad esiti formalisti in ontologia e metafisica, e ad esiti nominalisti in logica e semantica, finché ci si ostina, come gran parte del pensiero moderno, a voler affrontare il problema della referenza come una particolare relazione fra un simbolo linguistico *già costituito* ed il suo oggetto intra– o extra–lingusitico (= denotazione). Con questa impostazione non si può che finire nel formalismo di un'ontologia ridotta a puro confronto fra diverse strutture del discorso e delle loro corrispondenze, senza alcuna possibilità di «saltare il cerchio magico» della rete dei linguaggi verso la realtà extra–linguistica.

Analogia con le epistemologie rappresentazionali dell'inizio dell'età moderna

È un errore del tutto equivalente a quello dell'epistemologia moderna rappresentazionale: se si pone la *coscienza* a fondamento della *conoscenza,* perché si fa dell'*evidenza* il criterio della verità, non si potrà mai «saltare io cerchio magico» della coscienza ed attingere al reale. Ultimamente, fra «realtà» e «illusione», fra «realtà» e «sogno», come giustamente notò il poeta seicentesco Pedro Calderón de la Barca, non c'è possibilità di distinzione.

Problema della referenza può essere risolto solo se l'essere dell'ente entra causalmente nella costituzione del simbolo logico

Viceversa, il problema della referenza può dare risultati che vanno nella direzione di un fondato *realismo metafisico* se e solo se *l'oggetto extra–linguistico entra nel processo di costituzione dei simboli* del linguaggio medesimo. Solo così acquisteranno un indubbio valore ontologico anche lo studio delle corrispondenze formali fra diversi tipi di linguaggio. Se un certo simbolo viene costituito all'interno di un certo linguaggio in dipendenza da un certo oggetto e si trova una corrispondenza formale con un altro simbolo all'interno di un altro linguaggio, si può davvero e costruttivamente ipotizzare che essi abbiano un medesimo *referente** extra–linguistico anche se i processi di costruzione dei due diversi simboli e delle loro connotazioni nei loro rispettivi linguaggi sono molto diversi.

Vedremo in § 5.5.2 (pp. 356ss.) come un analogo problema nella fondazione ontologica dell'essere dell'ente nella metafisica aristotelica ha condotto Tommaso alla sua nozione metafisica dell'essere come atto e della sua *partecipazione* ai singoli enti (= fondazione dell'essere (essenza + esistenza) dell'ente *naturale* come partecipazione *ontologica* dell'ente all'essere sussistente). Tale dottrina metafisica costituisce così anche la base ontologica proposta da Tommaso per la soluzione del problema evidenziato da Quine, che è il problema di tutte le logiche nominaliste dal Medio Evo ai giorni nostri. Il problema della *fondazione metalogica della referenza* delle proposizioni «vere» (= fondazione della verità dell'ente *logico* come partecipazione *logica* del contenuto semantico (connotativo e denotativo) della proposizione all'entità del referente extra–linguistico. Cfr. § 5.5.3, pp. 369ss.).

Giustificazione psicologista mediante l'astrazione *versus* giustificazione metalogica mediante induzione costitutiva della verità

Purtroppo, di questo processo di costituzione dei simboli a partire dai referenti extra–linguistici viene data di solito nella filosofia scolastica moderna, invece che una fondazione *metafisica* e *metalogica*, una giustificazione puramente *psicologica*. Per giustificare, cioè *referenza* e *verità* dei simboli linguistici, si fa appello alla facoltà *astrattiva* dell'intelletto umano a partire dai dati dell'esperienza. Un approccio questo che può avere, a seconda dei casi, valore consolatorio o polemico nei confronti dell'ontologia formalista imperante nel pensiero moderno. Ma non può andare più oltre di questo. Non si può pretendere di fondare né un'epistemologia, né una logica, né tantomeno un'ontologia e una metafisica su nozioni psicologiche. Almeno il trascendentalismo moderno, tanto kantiano come husserliano, è stato ben attento a non cadere nel tranello psicologista, distinguendo nettamente fra soggetto individuale e soggettività trascendentale, necessariamente *meta–individuale* !

Lo stesso Wallace che pure seguiamo e seguiremo ancora in questo itinerario, malgrado da buon tomista metta il lettore e lo studente sulla strada giusta, pur tuttavia alla fine anche lui non sa portare altra giustificazione al realismo metafisico, tanto del linguaggio ordinario, come di quello scientifico, che quella della *teoria dell'astrazione*. Nondimeno, possiamo ancora seguirlo per un tratto di strada. Quello che ci invita, per affrontare e risolvere il nostro problema della *verità* e della *referenza* (essere) dei linguaggi scientifici e non, ad abbandonare il metodo ipotetico–deduttivo e la logica delle proposizioni, per concentrarci sul *metodo analitico* e la logica dei predicati. Al fine di studiare come sia possibile costruire proposizioni vere, *necessariamente* non solo *probabilisticamente* vere — sebbene si tratti sempre di verità *parziali*, *incomplete* e *perfettibili* —, a partire dalla *necessità* delle *relazioni causali* che queste proposizioni medesime esprimono sotto forma linguistica. «Ciò che è necessario è molto più ampio di ciò che è dimostrabile» (*An. Pr.*, 47a, 33-35) amava ripetere A-

ristotele: la necessità logica si fonda su quella ontologica, non viceversa, come pretendono Kant e i moderni.

## 4.4 Fondazione della necessità

### 4.4.1 Necessità logica e verità

Fondazione formalista della necessità e della verità nell'empirismo e nel neo-positivismo logico

Come abbiamo visto, tipico dell'approccio neo–positivista al metodo ipotetico–deduttivo della scienza moderna è la fondazione della *necessità* delle spiegazioni scientifiche sulla *tautologicità* delle forme logico-matematiche del discorso scientifico (leggi logiche) mediante cui i primitivi di un linguaggio formale, intesi come proposizioni semplici (atomi linguistici), vengono logicamente connessi per formare proposizioni complesse (molecole linguistiche) e quindi catene dimostrative di proposizioni (*corpus* di una teoria). Mediante tali catene, dagli assiomi di una teoria vengono dedotte altre proposizioni (teoremi) e/o — nel caso delle scienze naturali — vengono costituite procedure logiche formalmente corrette di *validazione* empirica (di falsificazione o di verificazione) *probabile* di proposizioni contenute nella teoria scientifica medesima.

Indipendenza dal contenuto semantico della proposizione

In questo senso, l'analisi logica del discorso scientifico si limita alla sola *giustificazione* di procedure formalmente corrette di costruzione, dimostrazione, legittimazione empirica di proposizioni, in maniera del tutto indipendente dal *contenuto semantico* delle proposizioni stesse, considerato nel duplice senso del *significato inteso* o *connotazione* del simbolo linguistico (ciò che s'intende mediante un determinato termine[91] per le relazioni che ha con altri termini del linguaggio) e del *referente* o *denotato* del simbolo, mediante la suddetta connotazione (l'oggetto, sia un esso un ente naturale o logico). Nei termini della logica classica, ci si sta movendo nell'ambito della logica *formale* (senza contenuto, senza riferimento all'oggetto) e non di quella *materiale* (contenutistica, oggettiva).

Limiti di questa impostazione per lo scienziato che non si sente rappresentato da questo formalismo logico

Ciò pone delle precise limitazioni riguardo al problema della *verità* dei linguaggi scientifici, nella sua duplice componente della *verità formale* e di quella *materiale* o *oggettiva*:

- *Rispetto alla verità formale dei linguaggi scientifici.* La validità degli argomenti, la loro *verità formale* o *consistenza*, è assolutamente indipendente

[91] «Termine» viene qui inteso nel senso della logica formale come «una qualsiasi espressione (lettera, parola, frase…) dotata di senso all'interno di un linguaggio di cui non si possa affermare né la verità o la falsità». Con «proposizione» (e quindi con «enunciato», nel senso che di una stessa proposizione si possono dare enunciazioni diverse in diversi contesti) s'intende invece «un'espressione dotata di senso di cui si può dire che è vera o falsa».

dalla *verità materiale* o *oggettiva* (adeguazione alla realtà) delle proposizioni, dato il carattere *ipotetico* delle dimostrazioni. La verità formale dell'argomento, in una dimostrazione ipotetica, è infatti assolutamente indipendente dalla verità della premessa e men che mai dal contenuto semantico di essa. Ciò è talmente vero che la verificazione formale degli argomenti può essere sostituita da una semplice procedura di *decisione,* di enumerazione ricorsiva (binaria, nel caso di una logica a due valori, ternaria nel caso di una logica a tre valori, etc.) delle diverse alternative, in base alle regole delle cosiddette «tavole di verità» dei diversi predicati (connettivi) proposizionali, per diverse combinazioni di valori (vero/falso, 1/0) attribuiti alle variabili. P.es., la verificazione formale mediante procedura di decisione per il *modus tollendo tollens* dell'argomentazione ipotetica (2) è la seguente:

| $((p \supset q) \cdot \sim q) \supset \sim p$ | | | |
|---|---|---|---|
| $p/1, q/1$ | $p/1, q/0$ | $p/0, q/1$ | $p/0, q/0$ |
| $((1 \supset 1) \cdot \sim 1) \supset \sim 1$<br>$(1 \cdot 0) \supset 0$<br>$0 \supset 0$<br>$1$ | $((1 \supset 0) \cdot \sim 0) \supset \sim 1$<br>$(0 \cdot 1) \supset 0$<br>$0 \supset 0$<br>$1$ | $((0 \supset 1) \cdot \sim 1) \supset \sim 0$<br>$(1 \cdot 0) \supset 1$<br>$0 \supset 1$<br>$1$ | $((0 \supset 0) \cdot \sim 0) \supset \sim 0$<br>$(1 \cdot 1) \supset 1$<br>$1 \supset 1$<br>$1$ |

- *Rispetto alla verità oggettiva dei linguaggi scientifici.* L'unico modo, per il metodo ipotetico deduttivo, di approssimare il problema della *verità oggettiva* delle ipotesi scientifiche (p.es., delle sue leggi) è quello parziale dei metodi di *corroborazione empirica* che fa sì che la verità oggettiva delle ipotesi scientifiche possa essere affermata solo in senso *probabilistico* e mai *dimostrativo.* Alla necessità formale delle sue asserzioni farebbe riscontro così una semplice probabilità circa i contenuti, circa il significato concreto da attribuire alle asserzioni stesse. Tale significato, inoltre, si limiterebbe ai puri contenuti *connotativi* essendo preclusa a priori, ad un approccio puramente *empirista* in epistemologia e *ipotetico–deduttivo* in logica, la soluzione del problema della *referenza* extralinguistica degli enunciati scientifici, il problema del che cosa essi realmente *denotano,* come vedevamo in § 4.3, pp. 257ss.. Non per nulla Quine nella Tavola II di p. 258 di «imperscrutabilità della referenza» nell'ontologia dell'empirismo logico.

Per trattare in modo consistente della verità delle proposizioni in riferimento al loro oggetto, occorre passare alla logica dei predicati del metodo analitico

Un fondamentale motivo teorico per il quale il metodo ipotetico–deduttivo ha delle difficoltà insormontabili a trattare con la verità oggettiva, *necessaria* e non soltanto *probabile*, dei propri asserti risiede nel fatto che esso si muove esclusivamente nell'ambito della *logica delle proposizioni*. La necessità delle sue argomentazioni, perciò, non può riguardare altro che le relazioni mediante le quali le proposizioni sono concatenate fra di loro. Se siamo interessati, invece, a sapere come determinate ipotesi sono da considerarsi vere o false in riferimento a determinati oggetti — «vere» cioè in un determinato *contesto*, così da costituire l'ingrediente fondamentale per la costruzione di un *modello** «vero» di quel sistema formale per quel contesto —, occorre portare l'analisi logica l'interno della costituzione dell'ipotesi stessa. Occorre passare, cioè, dal *metodo ipotetico–deduttivo* di falsificazione/verificazione al *metodo analitico* d'invenzione /costituzione di proposizioni ipotetiche adeguate al loro oggetto, dunque «vere» in un certo contesto. Come C. Cellucci ricordava nel suo saggio più volte citato, dedicato ad un bilancio della logica nel XX secolo, occorre oggi coraggiosamente domandarsi:

> Che cos'è la logica? È solo una scienza formale ed astratta (= logica formale, *N.d.R.*), oppure ha a che fare con la realtà (= logica materiale, *N.d.R.*)? Serve solo a giustificare conoscenze già trovate (= metodo assiomatico, ipotetico–deduttivo, *N.d.R.*), oppure anche a scoprirne di nuove (= metodo analitico, *N.d.R.*)? (Cellucci 1998, presentazione).

Dopo Gödel, secondo Quine, la necessità logica è inscindibile da un essenzialismo di tipo aristotelico

Occorre cioè esaminare la necessità della connessione logica non solo fra proposizioni, ma innanzitutto *fra soggetto e predicato all'interno della proposizione medesima*. La verità è infatti proprietà degli asserti innanzitutto, non delle teorie. Per questo, bisogna passare dalla logica delle proposizioni alla logica dei predicati e alla sillogistica in particolare. Ed altresì occorre passare da un approccio puramente estensivo (logica formale) alla logica, ad uno anche intensivo, contenutistico (logica materiale). D'altra parte, lo stesso W. V. O. Quine, in una sua famosa raccolta di saggi sul *problema del significato* in logica, era costretto, suo malgrado, ad affermare che, dopo Gödel e i suoi teoremi d'incompletezza, *analiticità* (verità di una proposizione riducibile al significato dei termini costituenti) e *necessità logica* non coincidono più come ai tempi di Leibniz e Kant.

Così, per Quine, se si vuole oggi ancora parlare di *necessità logica* non si può fare a meno di un riferimento alle logiche intensionali — per l'esattezza a logiche modali — e quindi al contenuto semantico di certe espressioni, e, soprattutto, non si può fare a meno di un «essenzialismo» di marca aristotelica. Ovvero, non si può fare a meno di supporre che certi predicati (i predicati che denotano altrettante proprietà «essenziali» di determinati oggetti) convengano «più necessariamente» di altri a de-

terminati soggetti (che denotano quegli oggetti cui quelle proprietà ineriscono). Questo perché, nota giustamente Quine, sebbene certe proprietà discendano analiticamente dal modo di determinare (connotare) un certo oggetto, esattamente come altre discendono analiticamente da altri modi, pur tuttavia solo alcune *convengono necessariamente* all'oggetto in questione. P.es., afferma Quine, si potrebbe connotare il numero «9» mediante due espressioni equivalenti, ma molto diverse per i loro contesti di connotazione come:

$$x = \sqrt{x} + \sqrt{x} + \sqrt{x} \neq \sqrt{x}$$

«Vi sono esattamente $x$ pianeti nel sistema solare»

Ma solo la prima ha come sua conseguenza necessaria «$x > 7$» in quanto tale proprietà conviene necessariamente solo a numeri. Al secondo modo di connotare «9», invece, tale proprietà non conviene affatto. «Numero di pianeti» non implica affatto che tale numero sia maggiore di 7, mentre il primo modo di determinare «9», come numero in quanto risultato di una certa operazione aritmetica *implica necessariamente* il possesso questa proprietà.

Per parte sua, Quine, piuttosto che finire aristotelico e cedere alla tentazione delle logiche intensionali, preferisce rinunciare alla necessità in logica e limitarsi all'analiticità (Cfr. anche Quine 1986, 20ss.).

> Difendere l'essenzialismo aristotelico (...) non fa parte dei miei intenti. Una tale filosofia è tanto irragionevole ai miei occhi, quanto lo è agli occhi di Carnap e di Lewis. Ma la mia conclusione, a differenza di Carnap e di Lewis è: tanto peggio per la logica modale (...). Infatti, se non ci prefiggiamo di operare la quantificazione attraverso l'operatore di necessità, non si vede quali possano essere i vantaggi di quell'operatore rispetto al semplice citare che un enunciato è analitico (Quine 1986, 145).

La spiegazione causale delle essenze è il *proprium* della filosofia della natura aristotelica, alla base della fondazione della necessità logica sulla necessità causale

Per noi invece è fondamentale trovare una fondazione alla *necessità logica,* anche se dopo Gödel — ma in perfetta continuità col pensiero logico pre–moderno — non inseguiamo miti di fondazione di necessità (come di verità) «assolute». E non ci dispiace affatto vedere che un logico del valore di Quine, ma nient'affatto aristotelico, sia arrivato alla medesima conclusione (senza l'essenzialismo aristotelico non si può fondare oggi la necessità logica) di noi che, invece, consideriamo tutt'altro che «irragionevole» la particolare forma di «essenzialismo» proposta da Aristotele. Come vedremo meglio a partire dal prossimo capitolo (Cfr. § 5.4.4, pp. 343ss.), Aristotele difende infatti una *fondazione causale* delle essenze in ontologia e della necessità in logica. Le proprietà e le qualità denotano dunque, non oggetti, ma *azioni* degli enti cui ineriscono (*forma ut actus*).

«L'esser bianco» del latte è dunque un azione: l'azione dell'«imbiancare», nel caso specifico di provocare nell'apparato sensorio del cervello umano o animale la sensazione del bianco[92]. A sua volta, la convenienza necessaria di certe qualità a certi oggetti, il loro essere proprietà cosiddette «essenziali» di quell'oggetto, da cui deriva *l'appartenenza necessaria immediata* di certi predicati a certi soggetti — e quindi *l'analiticità* delle proposizioni conseguenti è fondata — si fonda sul fatto che tali proprietà sono ontologicamente il risultato della medesima azione causale mediante cui l'oggetto che possiede tali proprietà passa all'esistenza. Senza tali azioni non esisterebbe l'oggetto e più esattamente non esisterebbe «un oggetto fatto così». Nella misura in cui una certa proprietà è legata all'effetto di un'azione causale *necessaria all'esistenza* di quell'oggetto, la proprietà risultante sarà *necessariamente legata* a quell'oggetto.

Esistenza dell'ente logico in quanto costituito dalla mente, liberamente in matematica vincolato solo dalle leggi logiche, vincolato anche dal riferimento ad un oggetto referenziale extra-linguistico in fisica e metafisica

Fra parentesi, ciò spiega perfettamente anche l'esempio di Quine: la proprietà «$x>7$» conviene necessariamente al numero «$9$» in quanto connotato mediante l'operazione aritmetica che in qualche modo lo «causa», lo fa esistere. Un'interpretazione questa, fra l'altro, perfettamente coerente con quella filosofia della matematica per la quale i numeri — e più in generale gli *enti logici della matematica* — esistono solo in quanto risultato delle operazioni per calcolarli e/o costituirli logicamente, con l'unico limite di non violare i primi principi della logica, il p.d.n.c. innanzitutto. Che è precisamente il senso aristotelico e tomista, radicalmente anti–platonico e implicitamente *costruttivista*, — peraltro molto vicino alla filosofia della matematica soggiacente al λ-calcolo di A. Church — con cui intendere l'esistenza dell'*ente logico* nelle matematiche (Cfr. § 5.3 e § 5.4, pp. 314ss.). Diversamente dall'*ente logico nelle discipline fisiche e metafisiche* dove l'ente logico medesimo (concetto, enunciato) è sì costituito dalla mente, ma *cum fundamento in re*, ovvero fondandosi su *proprietà di oggetti extramentali*

Se per gli enti matematici parlare di «spiegazione causale» può essere inteso in un senso solo analogico, ciò non lo è affatto per le essenze degli enti naturali, degli enti fisici, oggetto della filosofia della natura. P.es., è evidente che un determinato corredo genetico composto da 46 cromosomi, diverso per ciascun individuo, è proprietà essenziale, caratterizzante, di una determinata persona umana. Ora, il complesso di azioni causali che definiamo col termine collettivo «atto del concepimento» è ciò che determina tanto l'uno come l'altro: tanto l'individuo umano nella sua concreta corporeità, quanto il suo corredo genetico.

[92] Cfr. Le preziose analisi di (Henry 1972, 10 e 88-95) su questo punto. Cfr. anche (Basti 1997, 89ss.).

Metodo analitico, induzione costitutiva e dimostrazione sillogistica di proposizioni vere

Il metodo analitico, dunque, è il centro della logica e dell'epistemologia aristotelica ed il maggior contributo che essa può dare all'attuale discussione post-moderna sull'epistemologia e la logica delle scienze fisiche. In particolare, all'interno del metodo analitico, è centrale la procedura d'*induzione costitutiva* di proposizioni *analiticamente vere,* la cosiddetta *inventio medii,* «ricerca del termine medio» delle procedure sillogistiche, che possano costituire l'ultimo e decisivo *termine medio* di procedure di tipo sillogistico. Nelle scienze naturali, tali procedure sillogistiche saranno dapprima *induttive* (non–dimostrative) costruite su termini *singolari* e la loro conclusione sarà un *enunciato analitico di tipo causale.* Esso, nell'epistemologia aristotelica, dopo opportuna generalizzazione in forma di legge causale, costituirà la premessa maggiore procedure sillogistiche deduttive (dimostrative). Ma, per l'epistemologia delle scienze moderne, siffatto enunciato, se interpretato in senso rigorosamente estensionale, p.es., tradotto in termini «operazionali»*, matematico–quantitativi, potrà costituire a sua volta la proposizione assiomatica di un sistema formale ipotetico–deduttivo proprio di una teoria scientifica nel senso moderno del termine, in base alla legge del *calcolo dei predicati** (Bochenski 1995,110):

$$\left(\exists x P(x) \supset p\right) \equiv \forall x \left(P(x) \supset p\right)$$

Complementarità di induzione e deduzione

Ecco come Tommaso evidenziava il carattere complementare *dell'induzione* e della *deduzione* come le due forme principali per acquisire scienza, evidenziando fra l'altro come nella concezione aristotelico–tomista, contro l'approccio formalista moderno, anche la deduzione sia ampliativa della conoscenza, confermando così anche da quest'altro punto di vista — se ancora ve ne fosse bisogno — il carattere «aperto» dei sistemi logici in questa teoria logica.

> Duplice è il modo per acquistare scienza: uno per *dimostrazione,* l'altro per *induzione,* com'è stato affermato al principio di questo libro. I due modi sono tuttavia diversi, perché la dimostrazione procede dagli universali, l'induzione invece dai particolari. Se pertanto gli universali da cui procede la dimostrazione si potessero conoscere senza l'induzione, ne seguirebbe che l'uomo potrebbe acquistare direttamente scienza di essi dei quali non si può avere sensazione. *Ma è impossibile speculare degli universali senza l'induzione* (Tommaso d'Aq., *In Post. An.,* I, xxx, 252).

*Inventio medii* e sillogismo induttivo in Aristotele

Vediamo cosa intendeva Aristotele con «sillogismo induttivo». Tecnicamente, se definiamo con S, P e M, rispettivamente, gli estremi maggiore e minore e il termine medio di una procedura sillogistica, il sillogismo induttivo non–dimostrativo consiste, secondo l'espressione dello stesso Aristotele, «nel derivare mediante uno degli estremi l'appartenenza dell'altro estremo al medio» (*An. Pr.,* II,23,68b,15), in

modo che la proposizione risultante possa essere presa come *premessa maggiore* di un sillogismo, deduttivo, dimostrativo, di tipo *causale*, proprio delle scienze fisiche e metafisiche. Un sillogismo causale è quello che non si limita a giustificare il «che» di una certa conclusione — come nei sillogismi usati per costruire definizioni —, ma il suo «perché», la causa dell'evento denotato nella conclusione, fornendone perciò la «spiegazione». È chiaro che, fornendo Aristotele una giustificazione causale delle essenze, tutte le definizioni di essenza o *quidditates*, suppongono una spiegazione e dunque un sillogismo causale. Tornando al nostro sillogismo induttivo, in simboli, prendendo «&» come simbolo del prodotto logico e «→» come simbolo dell'implicazione, la forma del sillogismo induttivo è la seguente:

«S è P & S è M → M è P» (1)

Condizione di convertibilità del termine medio: non equivalenza con uno degli estremi, ma inclusione

P.es. — e l'esempio, puramente fittizio, è quello che Aristotele stesso offre nel passo sopra citato — «l'uomo, il cavallo, il mulo, …, ovvero una certa collezione di animali (S) sono senza bile (P), ma gli (S) sono anche longevi (M), dunque i longevi (M) sono i senza bile (P). La conclusione di tale sillogismo, che dovrebbe indicare in forma di legge che è «l'essere senza bile» una delle cause della longevità, è valida se e solo se si può supporre la condizione che le collezioni relative ai predicati S e M siano in qualche modo equivalenti: **S ≡ M**. Un'equivalenza ben strana per noi moderni, visto che come condizione per la convertibilità Aristotele pone di per sé una relazione d'inclusione fra **M** e **S**: **S ⊇ M**. Ovvero, se e solo se si può supporre per dirla nei termini di Aristotele, che

> S si converta con M ed il medio (M) *non sia più esteso di* S: in tal caso sarà necessario che P inerisca a M. Abbiamo infatti provato prima che se due predicati appartengono allo stesso oggetto e se tale oggetto, ch'è un estremo, si converte con uno dei due predicati, anche l'altro predicato, allora, apparterrà al predicato che è stato convertito. Per altro, bisogna prendere S come costituito da tutti oggetti che sono singoli, l'induzione infatti si costituisce attraverso una totalità di oggetti singoli (*An. Pr.*, II, 23, 68b, 23-29).

Significa che le classi non vengono considerate chiuse, ma incrementabili

In altri termini, la conclusione del sillogismo induttivo (1) sarà analiticamente necessaria se e solo se si può supporre che «l'essere longevo» (M) sia caratteristica tipica della collezione degli animali elencati come (S), comunque grande la si prenda (Cfr., la condizione che M non deve essere più esteso di S), così da trasformare la forma (1) del sillogismo — di per sé incapace di giustificare l'analiticità della conclusione infatti, scritta così com'è, essa giustifica solo che «*qualche* M è P»(Mignucci 1969, 702; Cfr. Basti 1997, 79ss.) —, nell'altra:

«S è P & M è S → M è P» (1*a*)

necessaria a garantire l'analiticità della conclusione e dunque la possibilità di una generalizzazione in forma di legge universale: «*tutti* i longevi sono senza bile».

In tal caso, la conclusione, opportunamente generalizzata in forma di enunciato universale, può costituire la premessa di un sillogismo causale deduttivo di tipo dimostrativo che assumerà perciò la forma ordinaria dell' *in Barbara*:

«M è P & S è M → S è P» (2).

Dove appunto si dimostra l'appartenenza di un estremo all'altro attraverso il medio. Come si vede dal confronto delle due forme sillogistiche considerate, (2) da una parte e (1)/(1*a*), dall'altra, la chiave formale del passaggio dall'una all'altra è la *convertibilità* soggetto–predicato fra S e M. Tale relazione può giustificarsi estensionalmente, supponendo un equivalenza fra la classe **M** e la classe **S**. In tal caso la premessa minore sarebbe non solo analitica, ma anche tautologica. Il sillogismo induttivo, però, risulterebbe valido solo supponendo l'enumerazione completa delle due classi, il che renderebbe equivalente l'induzione costitutiva a quella dimostrativa, rendendo il metodo analitico un sottoinsieme di quello assiomatico. È questa l'interpretazione *estensionale* del sillogismo induttivo data di solito dai moderni.

L'interpretazione di Tommaso d'Aquino: giustificazione intensionale della convertibilità mediante adeguazione S-M

Il suggerimento di Tommaso sarà invece — come approfondiremo in § 4.4.3, pp.278ss. —quello di giustificare *intensionalmente*, contenutisticamente, la relazione di doppia implicazione di cui sopra, mediante un meccanismo di specificazione, di *adeguazione reciproca soggetto–predicato*. Per capire il nucleo di questa interpretazione alternativa, esaminiamo più da vicino la questione.

Convertibilità della minore del sillogismo induttivo indica che la procedura dell'*inventio medii* ha raggiunto il suo culmine

Consideriamo le due forme sillogistiche, induttiva (1*a*) e causale–deduttiva (2): ambedue condividono la medesima premessa minore, ma a termini invertiti, rispettivamente (M è S) e (S è M). La convertibilità soggetto–predicato evidenzia che siamo di fronte ad un enunciato analitico che esprime *una proprietà essenziale* (*quidditas*) del soggetto S della conclusione. Più esattamente la premessa minore dei due sillogismi è un enunciato analitico non tautologico in grado di connotare univocamente una specie di enti, o «universale uno-di-uno», come quando, p.es., si connotano i «mammiferi» come «vivipari» o «i rettili» come «animali a sangue freddo». È proprio questa convertibilità che garantisce che M è il termine medio ricercato dalla procedura *dell'inventio medii,* M cioè è il predicato che appartiene al soggetto S senza ulteriori mediazioni.

Nell'interpretazione di Tommaso, l'induzione si basa sull'analogia

Nell'interpretazione di Tommaso, dunque, la convertibilità di M con S che è alla base della validità del sillogismo si basa su un'attribuzione agli individui S del predicato M che non è non è *univoca,* ma *analoga* (Cfr. § 4.4.3, pp. 278ss.). P.es., nel nostro caso, ciò significherebbe che la longevità di cui si parla è *esclusivamente,* quella rispetto alle specie animali considerate[93] e, viceversa, le specie animali sono considerate *esclusivamente* rispetto alla caratteristica della longevità (Cfr. la condizione che M, «l'esser longevo», non è più esteso di S, cioè delle specie animali considerate), proprio come nella premessa maggiore le si considerava rispetto all' «essere senza bile». Siffatta caratteristica organica, «l'essere senza bile», proprio perché sempre associata alla totalità della collezione finita d'individui considerata, può essere presa come condizione quindi «causa» per l'altra, come si afferma nella conclusione del sillogismo induttivo.

Insomma, nella costituzione induttiva della proposizione «M è P», conclusione del relativo sillogismo induttivo (1*a*), è come se la corrispondenza biunivoca (convertibilità) fra gli elementi dei due classi considerate, **M** e **S**, rispetto a cui validare la suddetta conclusione, fosse ridefinita ogni volta rispetto a ciascun elemento di S, in quanto ciascuno ha un suo proprio modo *analogo* di essere M, di «essere longevo», avendo ciascuno un suo proprio modo *analogo* di possedere P, di «essere senza bile». In una parola: S e M convertono grazie alla non convertibilità di S e P. Grazie perciò a questa *proporzionalità* fra M e P attraverso gli elementi di S, si può porre la conclusione generica: «ognuno che è M ha P», la legge causale cioè che «ogni longevo è senza bile», premessa maggiore di una serie indefinita di dimostrazioni «scientifiche» basate sulla forma (2) di sillogismo[94].

Complementarietà fra sillogismo induttivo e deduttivo

Tale interpretazione, molto meglio di quella moderna, può perciò ben rendere conto della conclusione tratta da Aristotele al termine della sua illustrazione del sillogismo induttivo:

> Da un lato il sillogismo che si costituisce attraverso il medio (il sillogismo deduttivo, *N.d.R.*) viene prima per natura ed è più evidente. D'altro lato, il sillogismo che si sviluppa per induzione è per noi il più ricco di conoscenza (*Post. An.*, II, 23, 68b, 35s.).

Infine, un ultimo punto che scopriremo in seguito al cap. 6 (Cfr. § 6.3.2.2, pp. 446) avvicina ulteriormente la trattazione aristotelica del sillogismo induttivo all'epistemologia contemporanea. Per Tommaso le dimostrazioni all'interno delle teorie fisiche — a differenza di quelle me-

---

[93] La «longevità–del–cavallo» non è la «longevità–del–mulo» e viceversa.

[94] Per ulteriori spiegazioni, cfr. (Basti 1997, 80ss.). Ma cfr. anche (Cellucci 1998, 360ss.) che evidenzia la centralità dell'induzione basata sull'analogia fra i *metodi analitici* di scoperta che possono essere e di fatto sono proficuamente utilizzati nella pratica scientifica.

tafisiche e matematiche — sono generalmente di tipo *ipotetico* non *apodittico*. Una dottrina epistemologica questa, intimamente legata alla teoria aristotelica delle quattro cause nella sua ontologia degli enti fisici. L'enfasi che la scolastica moderna ha messo sulla sillogistica e sul carattere apodittico delle sue dimostrazioni dimenticava che questo carattere apodittico era per Tommaso rivendicabile solo per le dimostrazioni della metafisica e della matematica, non per quelle delle scienze naturali. Questo sommariamente illustrato è così un contributo all'epistemologia e alla logica post-moderne che si pone in continuità a quello più specificamente ontologico circa la rilevanza dello schema aristotelico per la giustificazione della determinazione causale nello studio dei sistemi fisici complessi (Cfr. sopra, § 2.7.2, pp. 162ss.).

Dall'induzione enumerativa all'induzione costitutiva

Nei termini in cui precedentemente ci esprimevamo in questo capitolo, occorre insomma passare dalla tirannia della «logica della prova», tipica del metodo assiomatico ed ipotetico–deduttivo, alla «logica dell'invenzione/scoperta», tipica del metodo analitico. Più precisamente, occorre passare *dall'uso dimostrativo dell'induzione* o *induzione enumerativa* di evidenze empiriche prodotte a giustificazione di proposizioni ipotetiche già costituite — che non può che condurre a conclusioni ipotetiche di tipo probabilistico circa la verità delle proposizioni medesime —, *all'uso costitutivo dell'induzione* o *induzione costitutiva di proposizioni* che possano fungere, in determinati contesti — ricordiamo il carattere sperimentale delle leggi nelle scienze naturali —, da premesse *necessariamente* e non solo probabilisticamente *vere* di procedure deduttive di tipo sillogistico (*sillogismo** categorico o dimostrativo e non solo ipotetico). Le proposizioni così costituite, una volta interpretate in senso rigorosamente estensionale (p.es., definite in modo rigorosamente quantitativo mediante opportune operazioni di misura)[95], possono a loro volta costituire premesse *ipotetiche* di sistemi formali deduttivi di logica delle proposizioni, all'interno di determinate *teorie scientifiche*.

Dalla necessità causale alla necessità logica

In tal senso, nelle scienze naturali, la necessità della connessione *logica* fra i termini, soggetto–predicato della proposizione vera considerata si fonderà sulla necessità di una particolare connessione *causale* (Cfr. *infra* § 4.5.3, pp. 296ss.). Facciamo ora un esempio intuitivo della differenza fra un'argomentazione di tipo corroborativo di una proposizione vera, all'interno del calcolo preposizionale e del metodo ipotetico–deduttivo, e il suo corrispettivo sillogistico (sillogismo dimostrativo) all'interno della logica dei predicati e del suo metodo analitico–deduttivo.

---

[95] È ciò che generalmente si chiama in epistemologia delle scienze moderne *operazionalizzazione** di un concetto teorico (p.es., «colore») in termini di concetto operazionale, passibile di misurazione e/o calcolo (p.es., «lunghezza d'onda di radiazione elettromagnetica).

### 4.4.2 Connessioni causali e verità

Le conseguenze per la logica proposizionale dell'induzione costitutiva su base causale

L'importanza dello studio delle connessioni causali nella fondazione della verità delle proposizioni è legata al fatto che, in casi particolari, esse consentono la trasformazione di un ragionamento ipotetico basato sull'implicazione materiale (*se…allora*) in uno basato sulla doppia implicazione materiale (*se e solo se…allora*) che, dal punto di vista della logica preposizionale, consente la fondazione di procedure ipotetiche necessitanti di verificazione e non solo di falsificazione (Cfr. le argomentazioni (6)-(8) di pp. 249ss.) . Vediamo in concreto ciò cosa significa seguendo un esempio del già citato manuale di Wallace (Wallace 1996, p. 281ss.).

L'esempio di Wallace riguarda una proprietà quantitativa (dimensiva, geometrica, e non numerica, aritmetica) della terra: la sua (approssimata) sfericità.

Esemplificazione dell'uso dell'evidenza sperimentale in una procedura di corroborazione di ipotesi

La formulazione ipotetico–deduttiva del processo di corroborazione probabilistica della verità di una proposizione ipotetica del tipo «la terra è sferica», assumerebbe così la forma della seguente argomentazione già riportata a p. 250. Ovvero,

> **Se** ($p$) la terra è una sfera,
>
> **allora** ($q_1$), certe osservazioni come la sagoma di una nave che si perde all'orizzonte, il fatto che certe costellazioni siano viste solo da certe parti della superficie terrestre, oltre all'esistenza di precise misurazioni geodetiche, riveleranno che sono state fatte da una superficie sferica convessa; **inoltre** ($q_2$) la terra proietterà un'ombra circolare sulla superficie della luna durante un'eclisse lunare; **inoltre** ($q_3$) i corpi graviteranno perpendicolarmente alla terra in qualsiasi punto della sua superficie.
>
> **Ma** ($q_1$) le suddette osservazioni *rivelano effettivamente* che sono state fatte da una superficie sferica convessa; **e** ($q_2$) la terra *proietta effettivamente* un'ombra circolare sulla luna durante le eclissi lunari; **e** ($q_3$) i corpi *effettivamente gravitano* perpendicolarmente alla terra lungo tutta la sua superficie.
>
> **Quindi** ($q_3$) la terra è *probabilmente* una sfera.

Passaggio ad un uso costitutivo dell'evidenza sperimentale in logica dei predicati

Malgrado — come già più volte ricordato — la più gran parte delle argomentazioni scientifiche non possono garantirci la loro veridicità se non in questa forma probabile, pur tuttavia, in casi come il precedente si può arrivare a riformulare la nostra proposizione di partenza $p$ in modo che la sua verità risulti dimostrativamente *necessaria* e non solo *probabile*. Ovvero, la sua verità non risulti come conclusione di un'argomentazione probabilistica corroborativa di un'ipotesi data, ma come conclusione di un'argomentazione sillogistica dimostrativa e dun-

que *necessitante* di logica dei predicati. Ricordiamo infatti che l'argomentazione sillogistica dimostrativa (sillogismo categorico) è legata alla dimostrazione di proposizioni vere, ovvero alla dimostrazione dell'*inerenza necessaria* di un certo predicato (P) ad un determinato soggetto (S) mediante un termine medio (M).

Lo schema sillogistico di dimostrazione in logica dei predicati

Nell'usuale logica dei predicati, un sillogismo categorico (p.es., *In Barbara*, o di «primo modo della prima figura») è caratterizzato dal fatto che l'inerenza necessaria di P a S nella conclusione è dimostrata a partire dall'inerenza necessaria di P a M nella premessa maggiore e di M a S nella premessa minore. Il sillogismo categorico di tipo *In Barbara* assume perciò la forma canonica:

Ogni M è P
ogni S è M
quindi ogni S è P

Più sinteticamente:

«S che è M è anche P»

Ovvero:

«S è M è P»

Nel nostro caso avremmo un sillogismo tripartito:

Ogni $M_1$ è P
ogni S è $M_1$,
Ogni $M_2$ è P
ogni S è $M_2$,
Ogni $M_3$ è P
ogni S è $M_3$,
quindi ogni S è P.

Più sinteticamente,

S è $M_1$, $M_2$, $M_3$ è P

Ovvero, come appare dalla Tavola seguente:

| S | M | P |
|---|---|---|
| La terra | **$M_1$** È un corpo dal quale osservazioni sia terrestri che celesti rivelano che sono fatte da una superficie sferica convessa | |
| | **$M_2$** È un corpo che proietta un'ombra circolare sulla superficie lunare durante le eclissi | |
| | **$M_3$** È un corpo rispetto al quale tutti gli altri corpi gravitano perpendicolarmente in qualsiasi punto della sua superficie | è una sfera. |

Tavola III. Schema del sillogismo dimostrativo (categorico) come attribuzione di un Predicato P a un soggetto S, attraverso uno o più medi M.

Come non sarà sfuggito al lettore più preparato, l'esempio di Wallace è efficace e debole allo stesso tempo:

Efficacia dell'esempio intuitivo addotto

- Efficace perché fa vedere come utilizzando la medesima evidenza sperimentale, all'interno di uno schema costitutivo della proposizione in logica dei predicati, si può arrivare a giustificare l'affermazione in esame in forma necessitante, anche adducendo un numero finito e, al limite, una sola evidenza sperimentale. Infatti, la necessità del nesso soggetto–predicato non è fondata su un'enumerazione infinita — e dunque sempre e solo probabile sul finito — di diverse evidenze sperimentali, ma su leggi matematiche necessarie legate, nel caso specifico, a teoremi di geometria proiettiva e/o alla trasmissione in linea retta di raggi luminosi su distanze relativamente brevi in ottica geometrica. In questo caso, anche una sola evidenza sperimentale di tipo causa–effetto, che abbia cioè nella sfericità della terra la sua causa e perciò sia riportabile alle suddette leggi (teoremi) matematici, è sufficiente a giustificare la necessità dell'attribuzione di «essere sfera» alla terra e quindi la verità necessaria dell'asserto «la terra è sferica».

Debolezza dell'esempio intuitivo addotto perché non esplicita lo schema di induzione costituiva soggiacente ad ogni legge di tipo fisico-matematico

- Debole perché, almeno nella formulazione qui offerta da Wallace, egli tace sul problema fondamentale che darebbe reale valore dimostrativo alla procedura qui delineata. Il problema di come, cioè, una legge formale di tipo ipotetico–deduttivo quale appunto uno o più teoremi di geometria euclidea, siano applicabili alla singolarità di enti/eventi fisici individuali, oggetto di controllo sperimentale. Formalmente, infatti, lo schema dell'argomentazione sillogistica proposta da Wallace è quella del sillogismo di prima figura di primo modo, *In Barbara*, che suppone che tutti i termini siano quantificati universalmente. Di fatto, però, nell'applicazione fattane da Wallace, come in genere in ogni altra applicazione sperimentale di tipo fisico di una legge formale matematica (= legge fisico-matematica), lo schema non è più quello del Barbara tradizionale a quantificazione universale, ma la sua estensione anche a termini quantificati *singolarmente* — non solo *particolarmente* come il modo *Darii* —, quali sono appunto degli enti o eventi fisici sperimentali. Tale estensione induttiva del sillogismo aristotelico è stata studiata in maniera particolare dalla logica scolastica medievale (Bochenski, 1956 vol 1).

Vediamo più da vicino la questione il cui esame ci ricondurrà a quella che più sopra abbiamo già introdotto come l'interpretazione tommasiana, intensionale, basata sul principio di analogia, del sillogismo induttivo aristotelico (Cfr. sopra § 4.4.1, specialmente pp. 271ss.).

### 4.4.3 Metodo analitico e induzione costitutiva

Estensione induttiva a classi di individui singoli delle leggi sillogistiche universali

Lo schema sillogistico effettivamente usato da Wallace nel precedente esempio non è infatti, di per sé, quello da lui citato:

Ogni M è P
ogni S è M
quindi ogni S è P

come nel caso prototipico:

Tutti gli uomini sono mortali
tutti i Greci sono uomini
quindi tutti i Greci sono mortali

ma la sua estensione induttiva ad un dominio potenzialmente infinito di casi *singoli* del quale ne viene preso uno:

Ogni M è P
*un individuo-greco* S è M
quindi *un individuo-greco* S è P

Come nel caso prototipico:

Tutti gli uomini sono mortali
Socrate è uomo
quindi Socrate è mortale

Infatti, in tutti gli esempi addotti da Wallace di fondazione della necessità di un nesso soggetto–predicato di una proposizione *vera* che ha per oggetto la proprietà di un ente fisico, il suo sillogismo causale è basato su un'estensione a singoli enti fisici di una legge matematica universale (= legge fisico–matematica). Quindi lo schema effettivamente usato non è quello *Barbara* tradizionale a quantificazione universale, bensì quello del *Barbara* esteso induttivamente.

In ciascuno dei tre sillogismi relativi ai tre termini medi usati, avremmo un sillogismo con:

- Una premessa maggiore sotto forma di legge matematica universale, poiché implicata come teorema dalle ipotesi della geometria euclidea;
- Una premessa minore data dall'estensione induttiva a base sperimentale di tale legge ad un'infinità possibile di corpi fisici e attualmente al solo caso singolo di quel corpo fisico celeste che è il pianeta «Terra».

P.es., nel caso del termine medio $M_2$, avremo:

Ogni solido che proietta una forma circolare su una superficie è sferico
La terra durante l'eclissi proietta un'ombra circolare sulla luna
Quindi la terra è una sfera

In un'ontologia non-formalista o «contenutistica» dell'essere l'estensione induttiva delle leggi sillogistiche non richiede induzione completa

Ora, se come pensano i moderni, a cominciare da Hume, per ottenenere una tale estensione induttiva del *Barbara* fosse necessaria *un'enumerazione completa* della classe infinita degli elementi che condividono la proprietà M, è ovvio che gli stessi problemi che abbiamo nella giustificazione di una procedura di verificazione nel metodo ipotetico–deduttivo di logica proposizionale, li avremmo anche nel metodo analitico di logica dei predicati (Cfr. sopra, pp. 271ss.).

Ma appunto questo è ciò che l'elaborazione da parte della logica scolastica medievale di questo problema consente di evitare. In particolare quell'elaborazione com'è stata sviluppata da Tommaso d'Aquino, grazie alla sua nozione *intensionale* e non solo *estensionale* di «essere», *l'essere come atto* (*esse ut actus* o *actus essendi*) e alla sua applicazione in logica per risolvere i problemi della referenza (Cfr. §§ 5.5.2-5.5.3). Grazie a questa nozione è possibile dare un contenuto alla nozione di *esistenza* nei termini dell'essere di un ente come *entità* — l'essere della logica materiale o della «logica dei contenuti» (*Inhaltlogik*), in quanto distinta dalla nozione for-

malista di esistenza della logica formale moderna. L'entità consente di estendere induttivamente predicati formali (p.es., i predicati matematici, in quanto la matematica è «scienza formale delle essenze»), arricchendoli progressivamente di contenuti e quindi di istanze individuali che li realizzano in concreto (p.es., gli argomenti fisico–matematici di quei predicati. Cfr. Basti 1997; Perrone 1997). Afferma Tommaso:

> La potenza dell'intelletto nel comprendere è *in qualche modo* (*quodammodo*) infinita. Infatti comprende all'infinito le specie di numeri incrementando e similmente le specie di figure e di proporzioni. Conosce anche l'universale che è *virtualmente* infinito *secondo il suo ambito* (non in assoluto, *N.d.R.*): contiene infatti individui che sono *infiniti in potenza* (indefiniti *N.d.R.*) (*S. c. Gent.,* II, 49, 1250).

Esistenza virtuale degli individui nel dominio infinito generico di un predicato universale

Il modo di contenere individui *virtualmente* significa che un universale non può contenerne un numero infinito, secondo un *dominio* definito a priori. Un dominio definito a priori può contenere infiniti elementi *generici* non *individuali*, contiene infiniti uomini, non Socrate, Alcibiade, Gianni, etc.. L'uso del quantificatore universale, ben conosciuto anche ad Aristotele, significa proprio questo. Conoscere virtualmente un numero infinito di individui significa che per includere *effettivamente* il nuovo individuo in quanto tale nel dominio di un predicato generico, bisogna applicare passo passo una qualche regola induttiva di tipo intensionale di ridefinizione del predicato generico sulle occorrenze individuali di esso (analogia).

Estensione induttiva ai singolari delle premesse universali dei sillogismi è un integrazione fra procedure analitiche di scoperta e assiomatiche di prova

Se dunque si usa iterativamente un'intelligente alternanza di metodi assiomatici (estensionali) su domini *generici* e di metodi analitici (intensionali) per delimitare via, via, sempre più precisamente gli ambiti di applicazione *effettiva* (calcolabile, quindi costruttivamente *vera*) dell'universale, si può integrare la *necessità* universale, possibile solo su domini infiniti ma generici, con l'*effettività* dell'applicazione individuale che è possibile, per definizione, solo su sotto–domini finiti, al limite unitari, del dominio generico. Dimostrare (e/o calcolare) qualcosa in universale su domini generici, può essere utile ed interessante per la matematica o la logica *astratte*, ma non serve a nulla per le applicazioni *concrete*. Continuare a mantenere separate le due, porta solo all'anarchia logica e metodologica nelle scienze applicate — quelle che incidono sulla vita reale degli individui e delle società — e alla sterilità delle discipline logiche e matematiche *teoriche*.

Questa integrazione è conosciuta come la procedura analitica dell'*inventio medii* all'interno della procedura assiomatica di dimostrazione sillogistica

Questa integrazione fra metodi analitici e assiomatici è, come sappiamo, ciò che nella logica scolastica di ispirazione aristotelica si intendeva con la procedura dell'*inventio medii*, della ricerca del termine medio all'interno della procedura deduttiva di tipo sillogistico. Ecco come Tommaso, con le sue stesse parole, definisce la procedura analitica dell'*inventio medii* come procedura che termina in una proposizione *analitica* in cui soggetto–predicato si appartengono immediatamente che non può che essere una proposizione in cui, mediante il predicato, si dichiara (non si definisce, ovviamente) la *quiddità* di un ente designato dal soggetto di quella proposizione. Nei termini appropriati della logica antica, l'universale cui la procedura termina è un «universale *uno di uno*», la connotazione univoca di un oggetto. Solo questo tipo di proposizioni, infatti, per Aristotele possono essere *analiticamente vere*, senza essere tautologie — siamo in logica materiale non formale, ricordiamolo![96]

> Per inferire una determinata conclusione, occorrono due proposizioni, cioè la premessa *maggiore* e la *minore*, poiché, conosciuta la proposizione maggiore non ancora si ha cognizione della conclusione. La proposizione *maggiore* deve infatti essere conosciuta prima non solo di natura, ma anche temporalmente. In seguito, se nella proposizione *minore* viene *indotto* e/o *assunto* (si noti la differenza fra induzione e assunzione di un particolare specifico entro un universale generico, *N.d.R.*) qualcosa che è contenuto sotto l'universale che è la proposizione maggiore, ma di cui non è evidente che è contenuto sotto questo universale, ancora non si ha la conoscenza della *conclusione* poiché non ancora sarà certa la verità della proposizione minore (in altri termini: dalla proposizione «tutti gli uomini sono mortali» non potrò dedurre che «Socrate è mortale» finché, nella premessa minore, non avrò determinato che «Socrate è uomo». Ma per affermare questo direttamente dalla maggiore, avrei dovuto enumerare *tutta* la classe degli uomini, *N.d.R.*). Se invece nella proposizione *minore* viene assunto un termine di cui è divenuto evidente che sia contenuto sotto l'universale della proposizione *maggiore*, allora immediatamente diviene evidente *la verità* della proposizione *minore* (viene cioè risolto il problema, *N.d.R.*). Infatti ciò che viene posto sotto l'universale ha già la sua conoscibilità per cui si ha subito conoscenza anche della conclusione. (...) Esemplificando a proposito di quelle cose che vengono conosciute prima anche *temporalmente* della conclusione (ovvero le proposizioni maggiori di ciascun sillogismo, *N.d.R.*), Aristotele afferma: poniamo che qualcuno, per conoscenza acquisita di una conclusione da una precedente dimostra-

---

[96] Naturalmente proposizione analitica va presa qui nel suo senso proprio che non è sinonimo di tautologia, ma nel senso comune anche a Carnap di «proposizione il cui significato si riduce a quello dei termini (primitivi) che la costituiscono» (Cfr. a questo proposito il testo citato di cui alla nota 98).

> zione, conosca anticipatamente la seguente proposizione, e cioè che ogni triangolo ha tre angoli uguali alla somma di due retti. Ora, *inducendo* questa ulteriore assunzione, e cioè che questo oggetto (singolo, *N.d.R.*) che è in un semicerchio è un triangolo, contemporaneamente egli conoscerà la conclusione, *poiché questo oggetto indotto ha da se stesso la sua universalità entro cui essere contenuto cosicché non c'è bisogno di ricercare un ulteriore termine medio* (che fondi l'appartenenza, *N.d.R.*). (...) Esso è infatti il termine di una procedura risolutiva (= procedura *analitica, N.d.R.*), dal momento che le proposizioni mediate si riducono sempre a quelle immediate. Il che si può anche leggere così: l'ultimo *estremo* (ovvero il soggetto della premessa minore di un sillogismo dimostrativo, *N.d.R.*) che viene preso sotto il medio universale (il predicato della premessa minore, *N.d.R.*) non implica che sia conosciuto come essere sotto quell'universale per un qualche altro medio. *E quali siano quelle cose che implicano la conoscenza immediata del loro universale (Aristotele) lo dice subito dopo: di tal fatta sono solo i predicati singolari* («universali uno di uno», o «connotazioni singolari», *N.d.R.*) *che non possono venire attribuiti ad un qualche altro soggetto, poiché fra i singolari e la loro specie non può esserci alcun altro termine frammezzo* (*In Post. An.*, I, ii, 21. Corsivi miei)[97].

Universale uno-di-uno come termine dell'*inventio medii*

Ed ecco un altro testo di Tommaso che esemplifica cosa intenda l'Aquinate con termini «singolari» cui possono essere attribuiti universali «uno di uno». Essi sono o individui o essenze, in ambedue i casi connotati come soggetti di asserti che esprimono *quidditates*. Esattamente cioè, quanto avevamo bisogno per giustificare un sillogismo non–dimostrativo di tipo induttivo, dove la chiave di volta dell'*inventio medii* appare essere l'espressione della *quiddità* del cosiddetto termine medio mediante un'appropriata proposizione analitica.

> Bisogna considerare che qualcosa è detto *singolo* (*individuum*) dal fatto che non può per natura essere in molti. Ora, è in due modi che qualcosa non può per natura essere in molti.
> a) In un primo modo, per il fatto che qualcosa è determinato ad un qualcosa di unico in cui esiste, come la bianchezza che per definizione della sua specie per natura deve esistere solo nei molti, ma questa bianchezza che è ricevuta in un certo soggetto (p.es., il bianco della neve, *N.d.R.*) non può che essere in questo (p.es., non è il bianco del latte, *N.d.R.*). Secondo questo modo tuttavia, non è possibile procedere all'infinito, poiché non si può procedere all'infinito nelle cause materiali e formali, come viene provato da Aristotele nel II Libro della *Metafisica* (2,994a,20ss.; 994b,17ss.).

---

[97] Si noterà la vicinanza di questo esempio aristotelico discusso da Tommaso coll'esempio che ci forniva Wallace di estensione induttiva delle proprietà di un genetico oggetto sferico alla sfericità della terra.

b) È necessario perciò pervenire a qualcosa di unico che per natura sua non può essere ricevuto in qualcosa da cui riceva *individuazione*, come l'esser ricevuto nella materia prima che nelle cose corporee è principio di individualità (*singularitatis*). Quindi, è necessario che tutto ciò che per natura sua non può essere in qualcosa, per ciò stesso sia un *singolo irriducibile* (*individuum*).
Ed è questo il *secondo modo* per cui qualcosa non può essere per natura nei molti: *poiché per natura non può essere in alcunché*. Come se la bianchezza fosse (considerata come) separata senza un soggetto esistente e per questo modo fosse una singolarità (*individua*). E secondo questo modo è da concepire la singolarità (*individuatio*) anche nelle sostanze separate (gli «angeli», *N.d.R.*) che sono forme che hanno l'essere e nella stessa Causa Prima che è lo stesso essere sussistente» (Tommaso d'Aq., *In de Caus.*, IX,ix,235).

Induzione costitutiva come procedura di sussunzione dell'individuo nel genere

Ora ciò che Tommaso nella precedente citazione dai *Secondi Analitici* chiama «induzione», ovvero la procedura di attribuzione di un predicato generico (p.es., «d'esser triangolo») ad un oggetto individuale esistente (p.es., *questo* poligono iscritto in un semicerchio disegnato su un foglio), altro non è che quella procedura di ri–definizione del predicato generico sulla singolarità di un individuo la cui esistenza può essere provata e/o supposta *indipendentemente*, così da evitare qualsiasi rischio di impredicatività. Ovvero, non si tratta qui di un individuo che esiste come elemento *generico* di un dominio a quantificazione universale secondo la nota legge della logica dei predicati: $\forall x P(x) \supset \exists x P(x)$: «se una proprietà $P$ vale per una totalità di elementi generici, vale anche almeno per un elemento generico di quella totalità».

Chiave metafisica del principio: l'essere *proprio* del soggetto indipendente dall'essere dell'essenza, dell'appartenenza ad una classe

Tale tipo di esistenza è quella che riduce l'essere alla semplice appartenenza di classe, è insomma l'essere della copula kantiana. Viceversa, l'essere cui qui Tommaso si riferisce è indipendente dall'essenza, dall'appartenenza di classe, è l'*essere proprio*, contenutistico, intensivo e non estensivo, non legato all'estensione dei predicati, del τόδε τι aristotelico, della soggettività della sostanza prima (cfr. *infra* § 5.4.2, pp. 330ss.). L'essere che, nella metafisica tomista, diverrà *l'essere come atto*, dipendente dall'azione causale della Causa Prima, in quanto distinta, sebbene fondante, l'essere dell'essenza Sarà questo il nucleo della metafisica tomista che illustreremo nel Capitolo Quinto quando presenteremo la metafisica tomista come evoluzione e coerentizzazione ultima di quella aristotelica.
Ecco, comunque, come Tommaso enunciava l'applicazione al nostro problema logico dell'induzione costitutiva come sussunzione di un individuo, esistente indipendentemente dalla classe di appartenenza, alla classe stessa. Un testo in cui appare chiaramente la rilevanza logica della distinzione metafisica fra essere dell'esistenza ed essere dell'essenza o «essere della proprietà».

> Il soggetto ha sia una sua *connotazione* (*definitio*), sia un suo *essere* che non dipende dalla proprietà, ma il suo *essere proprio* viene pre-intelletto rispetto all'essere della proprietà in esso. Perciò del soggetto non è necessario conoscere solo il *quod quid est* , «il che cos'è» (come della proprietà, *N.d.R.*), ma anche l'*an sit*, il «che esiste». Essenzialmente perché è dalla connotazione del soggetto e della proprietà che dipende la dimostrazione del medio (*In Post. An.*, I, ii, 15)[98].

Induzione costitutiva come mutua ridefinizione reciproca soggetto-predicato

Ecco un ulteriore testo di Tommaso, sempre tolto dal suo *Commento ai Secondi Analitici* di Aristotele, dove esplicitamente si afferma che questa procedura di «induzione» di un individuo nel dominio di una predicazione universale altro non è che una procedura di ri–definizione del predicato universale generico (p.es., «l'essere uomo») rispetto a qualche differenza specifica (p.es., «l'essere greco») del soggetto singolare (p.es., «Socrate») cui il predicato si applica. Grazie a questa ridefinizione mutua soggetto e predicato si appartengono immediatamente, diventando così il predicato in questione il termine medio che si stava cercando. Afferma Tommaso:

> bisogna sapere che qui universale non viene inteso nel senso di ciò che viene predicato di più soggetti, ma *secondo un qualche adattamento o adeguazione* (*adaptationem vel adaequationem*) *del predicato al soggetto,* rispetto alla quale né il predicato viene detto senza il soggetto, né il soggetto senza il predicato (*In Post.Anal.*, I,xi,91).

Soggetto–predicato così si appartengono *necessariamente* e senza ulteriori mediazioni, ovvero *immediatamente.* La proposizione in questione sarà dunque una proposizione *analitica,* dove l'appartenenza soggetto–predicato non è giustificata da regole di costruzione di tipo sillogistico — quale appunto l'uso del termine medio.

Indipendenza dell'esistenza del soggetto dal predicato evita l'impredicatività della mutua ridefinizione

Grazie alla condizione che l'esistenza del soggetto non dipende dalla definizione del dominio del predicato generico, *la mutua definizione soggetto–predicato in cui si risolve la procedura analitica di ricerca del termine medio non si trasforma in una definizione impredicativa che si annoda in un circolo vizioso.* La definizione di un oggetto (classicamente: di un sottoinsieme — al limite unitario, come nel nostro caso — di un insieme) è impredicativa *se e solo se* l'esistenza del sottoinsieme di cui si voglia provare l'appartenenza ad un dato insieme è gia supposta nell'esistenza dell'insieme in questione. Se

[98] Come si vede questo testo conferma che la proposizione analiticamente vera è per Aristotele quella il cui significato si riduce a quello dei termini primitivi costituenti e mediante cui si designa un singolo esistente (Cfr. nota 96). Naturalmente, come abbiamo visto, nulla vieta che questo oggetto singolo sia invece che un ente fisico (p.es., l'uomo–Socrate) un ente logico astratto (p.es., l'umanità) esistente come tale solo nella mente umana e nel suo fondamento reale nel concorso causale comune mediante cui tutti gli uomini vengono all'esistenza (= la «nicchia ecologica» della specie umana).

l'esistenza di «Socrate» è invece indipendente dall'esistenza della classe generica degli «uomini» alla quale si vuol provare l'appartenenza di Socrate come elemento specifico di quella classe, è perfettamente legittimo supporre una procedura ricorsiva di progressiva (ri–)definizione (= specificazione) del dominio generico sull'esistenzialità tipica, su una proprietà tipica qualsiasi (p.es., la «grecità», l'«esser greco» di Socrate) dell'individuo da «indurre» (nel senso letterale di *inducere*, «condurre in») nel dominio medesimo. È infatti solo attraverso quella proprietà tipica che si può esser certi di stare a connotare quell'individuo. Anche se, siccome stiamo qui in una procedura induttiva iterabile in diversi contesti, non c'è bisogno che quella proprietà sia *l'hecceitas* cara a Duns Scoto, la proprietà che *in assoluto* distingue quell'individuo dall'infinità di tutti gli oggetti possibili — la «Socraticità» di Socrate, nel nostro caso. La reiteratività dell'induzione costitutiva tipica del carattere aperto e quindi contestuale dei sistemi logici che si stanno qui costruendo evita di dover infilarci in simili vicoli ciechi. Ecco come Tommaso descrive questa procedura:

Generalizzazione a molti del predicato riferito ad uno, termine della procedura induttiva dell'*inventio medii*

> Sembra che qui Aristotele dica che la connotazione (*definitio*) della proprietà (p.es., «essere uomo», *N.d.R.*) è il medio nella dimostrazione. Ma bisogna aggiungere che la connotazione della proprietà nel medio non può essere completata se non mediante la connotazione del soggetto. È evidente infatti che le premesse che contengono la connotazione del soggetto sono premesse che riguardano proprietà. Perciò la dimostrazione non si risolve nel suo primo fondamento (*prima causa*), se non prendendo come suo medio la connotazione del soggetto. Così pertanto è necessario concludere circa la proprietà che connota il soggetto (p.es., «l'essere Socrate», *N.d.R.*)[99] per il medio della connotazione della proprietà che di esso si vuol predicare (p.es., «essere uomo», *N.d.R.*), e *iterativamente* (*et ulterius*) è necessario concludere circa la connotazione della proprietà predicata relativamente al soggetto (p.es., «essere uomo» relativamente a Socrate, *N.d.R.*) per mezzo della connotazione del soggetto (p.es., «essere Socrate», *N.d.R.*) (*In Post. An.*, II, i, 415).

Induzione costitutiva e analogia

Come si vede, appare qui in tutta evidenza lo stretto rapporto — peraltro messo giustamente bene in luce anche da Cellucci nel suo libro (Cellucci 1998, pp. 360-379) — fra induzione, analogia e generalizzazione come metodi di scoperta, nell'ambito cioè del metodo analitico e,

[99] È chiaro che la proprietà di «socraticità» non può essere usata in quanto tale: sarebbe l'*hecceitas* di Scoto, ciò che individua il singolo in quanto tale rispetto a tutti i possibili contesti. Ma non c'è bisogno di questo: si può ottenere lo stesso effetto usando per ciascun contesto una delle proprietà che caratterizzano Socrate non in assoluto, ma rispetto ad un determinato contesto, p.es., nel contesto dell'umanità la sua «grecità».

specificamente, della procedura dell'*inventio medii* sillogistica. È evidente, infatti, che quella ridefinizione del predicato generico sulla singolarità di un individuo per poterlo includere nella classe designata dal predicato, altro non è che una forma di *attribuzione analogica*, non univoca, di un predicato generico ad un dato individuo. Ed è ugualmente chiaro che iterando più volte la procedura per diversi individui (p.es., «Socrate», «Platone», «Aristotele», «Alcibiade»...) che condividono la proprietà tipica, usata per connotare«Socrate» in un dato contesto (p.es., «la grecità». Cfr. nota 99), e possono quindi essere connotati a loro volta mediante essa, è possibile costruire induttivamente una premessa minore a quantificazione universale, quindi *generica*, di un sillogismo dimostrativo classico (categorico) del tipo «tutti i Greci sono uomini».

Il che chiude il cerchio: eravamo partiti dal problema di come adattare un predicato generico ad un singolo individuo, problema tipico delle scienze matematiche applicate, p.es., nel nostro esempio della sfericità della terra, delle scienze fisico–matematiche. Ora, evidenziando come una proposizione singolare possa essere generalizzata si ritorna al punto di partenza: quella del sillogismo dimostrativo a premesse necessariamente generiche. Più in generale, attraverso una procedura di generalizzazione è possibile costruire una proposizione che funga da assioma d'ulteriori procedure dimostrative in base alla legge del calcolo dei predicati già ricordata (Bochenski 1995, 110):

$$\left(\exists x P(x) \supset p\right) \equiv \forall x \left(P(x) \supset p\right)$$

Integrazione del sillogismo entro il metodo analitico

In ogni caso questa nostra analisi conferma quanto lo stesso Cellucci nel suo libro evidenzia (Cfr. Cellucci 1998, 14-16). Se, contro un atteggiamento dominante nella scolastica moderna, si evidenzia la centralità del *metodo analitico* dell'*inventio medii* nella procedura sillogistica, è ovvio che il sillogismo più che un *metodo di prova* di proposizioni costituite vere per altra via, appare come procedura per la costituzione di proposizioni vere entro contesti definiti. Scopo del metodo sillogistico è infatti per Aristotele definire un metodo

> Che ci dica come troveremo sempre sillogismi per risolvere qualsiasi problema e per quale via potremo assumere le premesse appropriate per ciascun problema (Aristotele *An. Pr.,* I,27,43a20-22)

Ciò collocherebbe il sillogismo entro *la logica della scoperta* piuttosto che solo in quella della prova, dandogli un ruolo ben preciso nell'epistemologia *ipotetico-deduttiva* della scienza moderna, come insieme di regole per la costituzione di proposizioni vere, mediante la ridefinizione di assiomi ipotetici generici su contesti singolari, al fine di costruire *modelli* effettivi di sistemi formali per contesti ben definiti di applicazione.

Integrazione dell'*inventio medii* come metodo analitico di scoperta nel metodo ipotetico deduttivo per la costituzione di proposizioni vere e quindi di modelli riferiti a oggetti esistenti

Infatti, *formalmente*, resta comunque vero che una dimostrazione ipotetica può essere valida (o non valida) prescindendo dal valore di verità delle sue premesse. Ma quando si usa *semanticamente* una dimostrazione ipotetica costruendo un *modello** nella procedura inferenziale di una scienza applicata ad oggetti — o, anche nell'uso a livello di inferenze applicate ad oggetti della conoscenza ordinaria — , e non astrattamente nella costruzione di un *sistema formale** fine a se stesso, in quei casi il valore di verità delle sue premesse diviene essenziale. Poter validamente decidere delle condizioni sotto le quali ciascuna delle premesse è vera o è falsa diviene prerequisito imprescindibile per giudicare della validità di una teoria scientifica nella soluzione di una determinato problema. Come abbiamo visto, ci fornisce una procedura in tal senso l'uso delle regole sillogistiche *dell'inventio medii* nella procedura d'induzione costitutiva per la ricerca di una proposizione analitica *vera* che costituisca il termine medio di una susseguente dimostrazione sillogistica. Il suo esito sarà, a sua volta, la costruzione di una proposizione vera che, se lo si desidera, potrà fare da premessa a una dimostrazione ipotetica all'interno di una determinata teoria scientifica o ragionamento di senso comune. La dimostrazione ipotetica resterà comunque tale, perché la verità della premessa non è assoluta: non si tratta di alcuna verità auto-evidente, ma di una proposizione dimostrata vera per quel particolare contesto, entro cui la dimostrazione dell'*inventio medii* sillogistica l'ha validata.

Soluzione del problema dell'imperscrutabilità della referenza del metodo ipotetico-deduttivo

Il riferimento ad una nozione d'esistenza del soggetto (*l'essere proprio* dell'individuo) *indipendente* dall'appartenenza al dominio di un qualche predicato evidenzia, comunque che, con la logica dell'*inventio medii,* siamo di fronte ad una logica contenutistica o intensionale e non solo estensionale, un'*Inhaltlogik* opposta al formalismo in ontologia. Il fatto poi che il riferimento intensionale serva a costituire domini di predicati universali «effettivi», evidenzia che quest'opposizione è vista in maniera costruttiva, non semplicemente per distinguere due logiche fra di loro incommensurabili. In particolare, il riferimento all'oggetto extralinguistico viene posto a livello di costituzione della proposizione, *risolvendo il problema dell'imperscrutabilità della referenza* giustamente denunciato da Quine per tutti i linguaggi assiomatici, che lavorano a partire da proposizioni assiomatiche già costituite (Cfr. sopra § 4.3, pp. 257ss.).

Differenza col metodo intensionale di Husserl

In questo senso, un utilizzo siffatto di quest'opposizione fra logica intensionale ed estensionale è molto diverso da quello fattone dalla riflessione fenomenologica husserliana. In Husserl, sebbene originariamente egli perseguisse il medesimo scopo di usare la logica intensionale come teoria fondativa della logica formale di tipo estensionale, *l'Inhaltlogik* è presa in un'accezione epistemologicamente e ontologicamente limitata al principio moderno dell'evidenza. La logica intensionale husserliana si

muove quindi entro il «cerchio magico» della coscienza intesa come *fondamento trascendentale* della verità. Essa non appare dunque utilizzabile — come lo stesso filosofo di Gottinga afferma mediante il suo famoso principio *dell'epoché* dalla tesi naturalistica — a fondare né una logica e una matematica che dimostrino e/o calcolino qualcosa di utile e di applicativo nel campo delle scienze naturali, e non proposizioni generiche relative ad una mitica «intuizione matematica», né un'ontologia realistica nel campo della riflessione metafisica[100] .

La metafisica tomista dell'atto d'essere come metafisica non formalista dell'essere

D'altra parte, l'utilizzo che abbiamo prima per sommi capi delineato della nozione di esistenza per una procedura d'induzione costitutiva di proposizioni universali evidenzia che è proprio la nozione di «esistenza» ad essere presa in senso *intensivo* e non puramente *estensivo* come in tutte le ontologie formaliste. L'uso costitutivo dell'induzione come procedura di costituzione di nuovi assiomi, e non semplicemente come procedura corroborativa, s'inquadra all'interno di una metafisica non formalista dell'essere. Trova cioè una sua collocazione adeguata solo all'interno di *una metafisica «contenutistica»* dell'essere, quale la moderna *ontologia formale* e, più specificamente, nell'ambito delle cosiddette ontologie descrittive non (ancora) formalizzate, all'interno della metafisica tomista dell'essere come *atto* (essere intensivo) e non solo come *esistenza* (essere estensivo). Metafisica che per questo risulta distinta da tutte le metafisiche «formaliste» dell'essere come semplice esistenza, sia antiche che moderne.

Questa riscoperta della metafisica tomista come metafisica dell'*actus essendi* è il risultato principale dell'indagine neo–scolastica del XX secolo, in particolare nell'opera di Maritain, di Gilson, ma soprattutto di Cornelio Fabro (Fabro 1961). Finora, purtroppo, di questa scoperta sono state approfondite soprattutto le sue conseguenze metafisiche e teologiche e molto poco le sue conseguenze metalogiche ed epistemologiche. Que-

---

[100] La logica trascendentale dell'approccio fenomenologico identifica infatti il contenuto intensionale (con la «s») dei concetti come fondamento della medesima necessità logico–formale nella relazione intenzionale (con la «z») soggetto–oggetto costitutiva di ogni atto di coscienza, contro il formalismo (assenza di contenuto) della logica trascendentale cartesiana e kantiana. Secondo tale schema, la relazione intenzionale è quella che si dà, all'interno d'ogni atto cosciente di pensiero logico (e/o di percezione empirica) fra l'essere cosciente di qualcosa (oggetto) e l'autoconsapevolezza di questo essere cosciente di qualcosa (soggetto), che costituiscono i due fuochi dell'ellisse di ogni atto di coscienza. Ciò che l'analisi della coscienza pone in evidenza è dunque che non esiste il puro *cogito* di cartesiana memoria, o il puro «Io penso» del trascendentalismo kantiano: se si pensa si pensa sempre «qualcosa», come pure si percepisce o si desidera sempre «qualcosa». In questo senso per Husserl, non può esistere una fondazione formalista della logica formale, ma una fondazione contenutistica o intensionale: qui è la chiave per comprendere il senso dell'opera principale sui fondamenti della logica di Husserl, *Logica formale e trascendentale* ed allo stesso tempo per comprendere l'intutilizzabilità della logica contenutistica husserliana come logica di una metafisica dell'essere in senso realista.

sto come altri nostri lavori (Basti & Perrone 1996; Basti 1997) vorrebbero cominciare a colmare la lacuna.

Induzione costitutiva come corrispettivo metalogico dell'atto psicologico dell'astrazione

In ogni caso l'*induzione costitutiva* come metodo di scoperta delle condizioni sotto le quali determinate proposizioni risultano *necessariamente* vere, anche se in forma sempre *parziale* e *perfettibile*, risulta quel corrispettivo logico e più esattamente metalogico ricercato di ciò che in psicologia della conoscenza definiamo col termine di *astrazione* (Cfr. quanto si diceva al termine di § 4.3, p. 264). Il processo psicologico dell' ἐπαγωγή (induzione) aristotelica degli universali logici, di cui lo Stagirita parla nella conclusione dei *Secondi Analitici* (*Post. An.*, II, 19 100a, 1-9 e 100b,4), proprio come nei *Primi Analitici* ci aveva dato della medesima ἐπαγωγή il corrispettivo logico nella sua trattazione del sillogismo induttivo (Cfr. sopra, pp. 271ss.). Non possiamo qui approfondire oltre questo punto della distinzione fra *induzione costitutiva* (fondativa di asserti) con valore *necessitante* laddove integrata con metodi assiomatici di deduzione, e *induzione enumerativa* (corroborativa di asserti già costituiti), con valore solo probabile, che abbiamo per esteso trattato altrove (Basti 1997). Torneremo nei prossimi due capitoli sui fondamenti ontologici e metafisici dell'induzione costitutiva. Per introdurci a questi, accenniamo invece alla diversa nozione di «essere» e di «esistere» che caratterizza la metalogica tomista costituendone, come già più volte accennato, la base ontologica.

## 4.5 Conclusione: dalla filosofia della scienza alla metafisica

### 4.5.1 Nozione estensiva di «essere» nei moderni

L'approccio analitico alla filosofia tomista impone prima di tutto una formalizzazione della nozione tomista di essere come atto

Alla fine del Terzo Capitolo dicevamo che la morte dello scientismo, la nascita della filosofia della scienza e la rinascita della filosofia della natura impongono nuovi compiti alla filosofia del XXI secolo. Si impone un recupero del rigore espositivo e dimostrativo da parte della filosofia e della metafisica in particolare, che coniughi il rigore formale della scienza e della logica moderne, con i contenuti della metafisica classica. Generalmente questo compito è svolto dal movimento di pensiero della cosiddetta *filosofia analitica*[101], erede del pensiero Wittgensteiniano, anche se al di fuori del riduzionismo epistemologico e metafisico dell'originario movimento neo–positivista.

Positivo interesse di molti filosofi analitici per Tommaso

Così, è un dato di fatto oggi il crescente interesse della *filosofia analitica* contemporanea ad uno studio rigorosamente formale della filosofia e della metafisica tomista. In un recente saggio, Brian J. Shanley o.p. evidenzia questo fenomeno.

> L'interesse analitico verso Tommaso è oggi tanto cresciuto che alcuni autori si considerano addiritura «Tomisti analitici». Un recente numero della rivista *The Monist* (vol.80, n.4, 1997) è interamente dedicato al Tomismo Analitico e un prossimo volume dell'«Oxford Companion to Philosophy» analizzerà lo stesso tema. Mentre ogni Tomista dovrebbe essere contento di vedere l'Aquinate ricevere il tributo degli analitici, molti interpreti tradizionali si chiederanno senza dubbio se il «Tomismo Analitico» sia un ossimoro così come lo sembrò il «Tomismo Trascendentale»[102]. Si può realmente essere tomisti *e* filosofi analitici? Le basi fi-

---

[101] La filosofia analitica è un movimento filosofico, assai sviluppato nella cultura anglo–sassone che ha seguito l'insegnamento originario di Wittengstein della filosofia come «terapia linguistica», come analisi logica rigorosa dei diversi tipi di linguaggio, al di là dei limiti della semplice filosofia della scienza. Risultati particolarmente proficui della filosofia analitica si hanno nei due campi fondamentali dell'ontologia e dell'etica, dove più importante è l'uso di linguaggi rigorosi, contro tentazioni ideologiche e retoriche in cui spesso tali tipi di indagine filosofica spesso sono cadute e cadono nella modernità (Cfr. Strawson 1992 e www.formalontology.it) .

[102] La scuola neo–tomista, diffusasi nell'Europa continentale soprattutto dopo l'ultimo dopoguerra, che cercò di rileggere la metafisica tomista all'interno della filosofia trascendentale moderna, soprattutto kantiana e che ha avuto in filosofi come Joseph Maréchal s.j., Johan B. Lotz s.j., e in teologi come Karl Rahner i suoi massimi e più noti rappresentanti.

losofiche dell'uno sono compatibili a quelle dell'altro? (Shanley 1999, 79s)[103].

Ma l'uso del metodo analitico dev'essere attento al proprium dell'ontologia tomista

La risposta di Shanley è che certamente il dialogo fra analitici e tomisti è proficuo. Da parte dei tomisti è proficuo per un recupero di rigore dimostrativo troppo spesso smarrito da divulgazioni affrettate del pensiero di Tommaso. Da parte degli analitici diventa proficuo se la filosofia analitica è capace di riconoscere la novità e la non riducibilità dell'ontologia tomista, rispetto a quella vigente nella filosofia analitica e che si rifà, indirettamente, all'ontologia di I. Kant e più direttamente all'ontologia di G. Frege.

Errore sistematico di molti analitici di usare la nozione kantiana–fregeana di essere (essere estensivo) anche per Tommaso (essere intensivo) o essere-come-atto

L'errore sistematico che Shanley rileva in numerosi Tomisti Analitici è il fatto che troppo spesso i filosofi analitici, nell'esaminare il pensiero ontologico e metafisico di Tommaso, mancano il bersaglio perché inconsapevolmente riducono la sua nozione di *essere* alla semplice nozione formalista di *esistenza* della filosofia moderna, in particolare nella sua versione fregeana. Invece, come vedremo nei prossimi due capitoli, il *proprium* della sua metafisica nell'ambito del pensiero occidentale è la nozione di *essere come atto*, di *essere intensivo* dotato cioè di un *contenuto* che esprime e manifesta l'intima *natura*, di un ente, la sua *essenza concreta* o *entità*, risultato di un *processo causale* e quindi realizzata in un determinato *esistente*. Approfondiamo ulteriormente, perciò, quanto in forma iniziale abbiamo già visto. Come cioè tutto ciò si applichi alla problematica dell'*induzione costitutiva* di proposizioni vere, da inserire come assiomi di procedure dimostrative delle scienze naturali. In tal modo colleghiamo quanto qui abbiamo detto con quanto diremo nei due capitoli successivi.

L'essere di Tommaso non è la semplice fattualità dell'esistenza, dell'appartenenza di classe o dell'essere come copula kantiano

Quando da parte di molti Tomisti contemporanei, a partire da C. Fabro (Fabro 1961), si denuncia la deviazione formalista della metafisica moderna che riduce la ricchezza della nozione di *essere* alla semplice fattualità dell'*esistenza*, si ha di mira principalmente l'affermazione kantiana che nega dignità di predicato all'*esistenza*. È famosa la critica kantiana all'argomento ontologico circa l'esistenza di Dio di Anselmo d'Aosta, ripreso da Descartes, secondo cui Dio esiste necessariamente perché la sua essenza è quella dell'Essere Perfettissimo (*id quo maius cogitari nequit*, «ciò di cui non si può pensare uno più grande»). Quindi se l'Essere Perfettissimo non esistesse, se ne potrebbe pensare uno ancora più perfetto che alla perfezione del primo, aggiungesse anche quella dell'esistenza. La critica kantiana, in parte condivisa dallo steso Tommaso, è che con

---

[103] Il saggio è contenuto in un numero speciale della rivista *Divus Thomas* (vol. 3, 1999) — curato da Alberto Strumia, Claudio Testi e me —, dedicato al dibattito suscitato dalla recente Enciclica *Fides et ratio*, dal punto di vista della relazione fra filosofi «analitici», «continentali» e «tomisti». Cfr. (Basti *et al*, 1999).

un'affermazione del genere abbiamo un passaggio indebito dall'ordine logico a quello ontologico. «Cento talleri possibili», di fatto non–esistenti, non diventano «cento talleri più uno» se si considerano esistenti: l'esistere non è una «proprietà in più» che si aggiunge all'essenza di un ente. Semplicemente per Kant — e qui finisce l'accordo con Tommaso — l'esistere è il porsi in atto in un esistente di una determinata essenza, puramente possibile. L'essere insomma si riduce in Kant alla *copula* fra un soggetto e un predicato, l' «è» di un giudizio dichiarativo del tipo «questa cosa *è* un gatto», mediante cui un certo dato fenomenico è «sussunto» entro una categoria a priori dell'intelletto.

«Esistere» si riduce ad «essere qualcosa», all'estensione (dominio) di un predicato

Nei termini della logica delle classi fregeana-russelliana: esistere significa semplicemente che una certa classe **P**, definita da un particolare predicato $P(x)$ è *non-vuota.* Quindi, quando si afferma: «una certa cosa (p.es., un gatto) *è*», nel senso di «una certa cosa *esiste*» non si sta propriamente predicando qualcosa di un individuo: ma si sta semplicemente sottintendendo una qualche affermazione predicativa del tipo, p.es., «qualcosa appartiene alla classe dei gatti». Nei termini dell'ontologia fregeana relativa alla sua logica delle classi (Cfr. § 1.6, pp. 89ss.): con «esistenza» si sta semplicemente esprimendo *l'appartenenza* «$\in$» di un certo elemento $x$ al dominio di un dato predicato $P(x)$, così che la relativa classe **P** risulti non–vuota, ovvero:

$$x \in \mathbf{P}$$

In altri termini, per ciascuna classe non–vuota di elementi, la verità che ogni elemento $x$ del dominio soddisfi il predicato $P(x)$ implica che esista almeno un elemento $x$ che soddisfi il predicato. In simboli:

$$\forall x\, P(x) \supset \exists x\, P(x)$$

Per Frege esistere è attribuire un numero diverso da zero ad un elemento generico di un dominio

In questo senso, per Frege, affermare l'esistenza di qualcosa, di una cosa con la qualità o proprietà che la determina, non è altro che attribuire un numero diverso da zero ad un oggetto, inteso come generico elemento del dominio del predicato che esprime o designa quella proprietà. Gli enunciati di esistenza non sono altro che enunciati numerici — «1» per l'esistenza, «0» per la non–esistenza[104], e tutti i numeri possono essere costruiti a partire da queste due cifre, in numerazione binaria.

---

[104] Di per sé questa scoperta che è alla base della possibilità stessa di costruire una logica matematica, non fu di Frege, ma di Ernst Schröder (1841-1902) il quale per primo teorizzò che «zero» denota la «classe vuota» che è una classe contenuta in tutte le altre classi, nel senso che ogni classe ben formata deve escludere da se stessa tutti gli elementi che non condividono quella proprietà (predicato) che definisce la classe. In questo senso, ogni classe deve contenere come classe vuota la classe di tutti gli elementi che *non* le appartengono, che *non esistono* in essa. Viceversa «uno» denota la classe universale $V$, la classe

Affermare l'esistenza di un oggetto equivale a enumerarlo all'interno di una classe appropriata

Ora, come l'attribuzione di un numero, l'enumerare un oggetto all'interno di una data collezione, non attribuisce una qualche ulteriore proprietà ad un oggetto — l'unica proprietà è quella che determina la collezione cui l'oggetto appartiene e che viene espressa dal relativo predicato —, così avviene per le affermazioni esistenziali. Dire «questo gatto *esiste*» non aggiunge alcun'altra proprietà a questo oggetto diversa da quella (o dall'insieme di quelle) per cui si è potuto dire «questa cosa *è* un gatto», ovvero «questa cosa è un elemento della classe dei gatti» o «appartiene alla classe dei gatti». Insomma, affermare: «$x$ esiste» non è altro che affermare che «qualche $x$ è $y$». Dire che «un qualche gallese giocherellone esiste», esemplifica Shanley, equivale nella logica delle classi a «qualche gallese è un giocherellone».

Se l'essere viene ridotto a questa forma di esistenza, l'essere diviene puramente formalistico, estensivo, indipendente dal contenuto. Impossibilità di risolvere problema referenza

Dire «esiste» in questa logica non fa riferimento, insomma, ad alcun contenuto. Dice solo l'appartenenza del nome di un elemento $x$ all'*estensione* (o dominio) di un qualche predicato $y$. Per questo definiremo l'essere dell'esistenza in questo senso formalista, non-contenutista, moderno come «essere *estensivo*». D'altra parte, già abbiamo accennato, parlando dei limiti dell'ontologia neo–positivista, p.es., nell'approccio di Quine (Cfr. § 4.3, p. 257), come una siffatta ontologia formalista renda impossibile risolvere il *problema della referenza*, riducendo la questione dell'oggetto referenziale di un dato linguaggio ad una procedura di ricerca di predicati con estensioni equivalenti. Ovvero, riduce il problema di ricercare a cosa davvero si riferiscano certe proposizioni alla ricerca di modi dire equivalenti la medesima proposizione, senza mai la possibilità di sapere cosa si celi «al di là dello specchio»[105] dei reticoli sintattici dei linguaggi. Un risultato questo condiviso anche dall'ontologia kantiana, per la quale «la cosa in sé», non è altro che un *noumeno*, un oggetto pensabile, un referente ipotetico di giudizi e dunque di proposizioni dichiarative.

che contiene ogni altra classe, inclusa se stessa (Bochenski 1956, II, 475ss.). D'altra parte per esistere ogni classe ha bisogno che di contenere almeno *un* elemento (altrimenti sarebbe la classe vuota, che denota la non–esistenza). Spetterà alla riflessione sui fondamenti, successiva alla scoperta delle antinomie di Cantor e Russell, scoprire che $V$ propriamente non può essere una classe (o un insieme) con il grafico delle relazioni fra tutti i suoi infiniti elementi completamente definito, ma solo una «collezione», la collezione di tutti gli enti che soddisfano al predicato *esiste*.

[105] Il riferimento è ovviamente allo «specchio» di *Alice nel paese delle meraviglie*, la famosa novella–paradigma di quell'«oblio dell'essere», che caratterizza la filosofia moderna, a partire dallo smarrimento della «cosa in sé» nel rappresentazionismo kantiano.

D'altra parte questa teoria ontologica della logica delle classi fregeana intimamente legata all'antinomia di Russell

Risalendo ancora più indietro nella ricostruzione storica del cammino della scienza moderna fatto nei capitoli precedenti, abbiamo visto già come questa teoria ontologica fregeana dell'esistenza, legata alla sua logica dei predicati come logica puramente estensionale delle classi, porti ad antinomia, la cosiddetta «antinomia di Russell» (Cfr. § 1.5.2.2, pp. 81ss.). Infatti, per giustificare l'esistenza di un oggetto in quanto semplice appartenenza ad una classe, occorre giustificare l'esistenza di quella classe come dominio non vuoto del relativo predicato. In simboli:

$$\forall x A(x) \supset \exists y \forall x \ (x \in y) \cdot (x \neq y)$$

Se l'essere si riduce all'appartenenza di classe, necessità della classe totale

Per dare consistenza ultima alla costruzione occorrerebbe così ammettere che esista *la classe totale* di tutte le classi che non appartengono a se stesse. Abbiamo visto, però, che ciò porta ad un'insanabile contraddizione, non appena volessimo giustificare per questa via l'esistenza di siffatta classe totale: appartiene o non appartiene a se stessa?

Di qui suggerimento di Russell di evitare un approccio costruttivo mediante assiomi di esistenza

Infatti, in tal caso, la formula precedente andrebbe riscritta come:

$$\forall x A(x) \supset \exists y \forall x \ (x \in y) \cdot (x \notin y)$$

Il che è chiaramente contraddittorio. Di qui il suggerimento di Russell di giustificare l'esistenza di domini di predicati nella teoria di Frege non mediante procedure costruttive, sillogistiche, di implicazioni fra predicati e quindi di inclusioni fra classi sempre più estensive, ma mediante opportuni *assiomi di esistenza* quale il famoso «assioma di comprensione» della teoria «ingenua» delle classi. Secondo tale assioma, per il fatto che si afferma un predicato $A(x)$ si costituisce anche il dominio degli elementi che lo soddisfano:

$$\exists y \forall x \ x \in y \equiv A(x)$$

Impossibilità di una giustificazione dell'induzione costitutiva nella logica delle classi estensionale di Frege

D'altra parte, la teoria formalista di Frege non potrà mai giustificare quella procedura d'*induzione costitutiva* cui si accennava come essenziale per dare a determinate inferenze della scienza sperimentale quel valore necessitante, dimostrativo, anche se sempre perfettibile, di cui si diceva. Infatti, a parte i giudizi di consistenza, ciò che la teoria fregeana delle classi può garantire è l'esistenza di *elementi generici* di una classe. Perché essa possa garantire l'esistenza di un individuo concreto all'interno di essa — p.es., non che «un qualche gallese è giocherellone», ma che «John Smith è giocherellone», oppure non che «un qualche greco sia uomo», ma che «Socrate sia uomo» — occorrerebbe che la procedura enumerativa degli elementi all'interno della classe possa essere completa, effettivamente estesa a tutto il dominio infinito di un predicato universale. Il che, di nuovo, ci riconduce ai limiti dell'induzione enumerativa come procedura di prova.

### 4.5.2 Nozione intensiva di «essere» in Tommaso

Nell'induzione costitutiva tomista affermazione di esistenza non è una numerazione di elementi generici di domini già costituiti

Viceversa, quando nella logica dell'induzione costitutiva tomista si applica un determinato predicato generico ad un soggetto esistente con un suo *essere proprio*, evidentemente intensivo e non estensivo, non si sta semplicemente enumerando un elemento all'interno di una particolare classe già tutta costituita. Si sta facendo qualcosa di molto più radicale: si sta *adeguando* il predicato generico all'*unicità* irripetibile del soggetto di quel predicato, rispetto ad una qualche *differenza specifica* dell'individuo in questione. «L'esiste» anche per Tommaso ultimamente coincide con affermare l'appartenenza di un individuo ad una classe, ma «l'esiste» non è un semplice contare estrinseco all'essenza concreta, all'entità dell'individuo. L'esiste denotato dal simbolo «∃» del calcolo dei predicati, non è un semplice «quantificatore» nella logica tomista, un «notaio» che si limita a spuntare una lista, annotando «c'è/non c'è», «1/0». È un *operatore* che agisce sul dominio del predicato e sull'elemento che deve appartenervi *adeguandoli* l'uno all'altro (Basti & Perrone 1996).

Riadeguazione del predicato sull'essere proprio dell'individuo e partecipazione predicamentale

Per poter dire validamente «esiste» nel senso di «appartiene a quella classe», occorre riadeguare, «contrarre», il predicato che determina la classe a qualche proprietà specifica dell'individuo in questione. È ciò che Cornelio Fabro, nel suo famoso testo sulla nozione di partecipazione dell'essere in Tommaso d'Aquino, definisce *partecipazione predicamentale,* la partecipazione dell'individuo all'essenza tipica della sua specie.

La partecipazione predicamentale suppone quella trascendentale dell'essere come atto

La partecipazione predicamentale dell'individuo alla specie, poiché suppone che l'individuo esista di essere proprio, suppone, a sua volta e dunque si fonda sulla *partecipazione trascendentale* dell'essere di ogni ente — caratterizzato da un'essenza finita, limitata — all'Essere Sussistente in cui essenza ed essere coincidono (Fabro 1961). Tale «partecipazione» nei due sensi appena descritti, è una forma particolare di causalità che rimanda, rispettivamente, all'esistenza di *agenti causali universali* nell'ordine fisico per la spiegazione causale delle essenze concrete, delle entità dei singoli individui (enti fisici) appartenenti ad una medesima specie, secondo quella che fu la geniale intuizione aristotelica della forma come atto (Cfr. § 5.4.4, pp. 343ss.) ed all'esistenza di un *Agente Universale Assoluto o Atto Puro* nell'ordine metafisico per la spiegazione causale di tutto l'essere, essenza ed esistenza, di ogni ente (Cfr. § 5.5.2, pp. 356ss.).

### 4.5.3 Essere intensivo e fondazione dell'induzione

Approfondimento della nozione di partecipazione predicamentale

Approfondiamo un momento la nozione di «partecipazione predicamentale» che è quella che qui più ci interessa per una fondazione causale della necessità logica nel sillogismo scientifico di tipo induttivo. P.es., nel caso della proposizione «Socrate è uomo», per poter inserire validamente l'individuo «Socrate» nella classe degli umani, occorre *adeguare* il predicato generico «essere uomo» ad una qualche particolare specificità dell'umanità di Socrate, dell'essere uomo di Socrate, della sua propria *entità* di uomo.

Per inserire uno specifico e non generico individuo in una classe non c'è bisogno di enumerare l'intera classe, basta ridefinire il predicato generico su una proprietà specifica

Per questo motivo, non c'è bisogno di aver enumerato completamente la classe degli umani per essere certi della *verità* della proposizione «Socrate è uomo». Né, c'è bisogno di possedere l'ultima differenza specifica, *necessaria e sufficiente* a individuare Socrate nell'infinità possibile di *tutti* gli uomini — l'*hecceitas* cara a Duns Scoto — per essere certi della verità di quella proposizione. Basta possedere una differenza *necessaria* a caratterizzarlo come *quel particolare* individuo (p.es., «Se è Socrate allora è un filosofo greco che ha bevuto la cicuta»), che risulterà anche *sufficiente* «fino a prova contraria» (ovvero, «Se è un filosofo greco che ha bevuto la cicuta, allora è Socrate» è anche condizione sufficiente per individuare Socrate, finché non avrò trovato un altro filosofo greco morto alla stessa maniera). Finché, cioè, ulteriori scoperte, nell'ambito comunque finito della conoscenza sperimentale induttiva, non costringeranno a reiterare la procedura per trovare nell'entità di Socrate un'ulteriore differenza *necessaria* — e di nuovo *sufficiente* solo «fino a prova contraria» —, a garantire che sia proprio Socrate, il Socrate effettivamente esistente, ad appartenere alla classe degli umani.

Sintetizzando quanto approfondiremo nel Capitolo 6 per applicarlo da subito ai problemi di fondazione delle procedure dimostrative discusse in questo capitolo, anticipiamo la conclusione metalogica essenziale che trarremo in §6.1.

«Esiste» in senso intensivo non è un predicato, ma un metapredicato

È vero che «l'esiste» non è un predicato. Ma nel senso dell'essere intensivo che abbiamo appena detto, non è neanche il semplice «quantificatore» esistenziale della logica delle classi. Non è neanche quel «notaio» che si limita a «prendere nota di», a enumerare un singolo elemento entro domini generici. In altri termini: è vero l'essere non è un predicato generico, anzi non è il predicato più generico di tutti che si può attribuire ad un soggetto (l'essere generalissimo). L'essere non è un genere anche quando volessi indicare con esso l'*esse commune*, l'essere comune ad ogni ente, l'esistenza, appunto, quell'essere per cui ogni $x$ soddisfa alla formula schemarica universale «$x$ è ente». Effettivamente «esiste» non è un

predicato, ma, nel senso intensivo che abbiamo appena delineato, «esiste» è un *meta–predicato*: un predicato che ha per argomento:

- una determinata proposizione predicativa, categoriale, del tipo «Poldo è un gatto»
- e la relazione con l'oggetto extra–mentale, «Poldo–gatto», che, rendendo la proposizione un *designatore di individuo* (un «universale 'uno di uno'») mediante la procedura di ri–definizione (partecipazione predicamentale) costituisce *vera* la proposizione predicativa «Poldo è un gatto».

L'essere intensivo, l'essere come atto, è l'essere che include intensivamente e non estensivamente ogni altro atto formale, ogni altra proprietà e quindi ogni altro predicato

Infatti *se e solo se* «Poldo–gatto» *esiste*, «Poldo è un gatto» — la proposizione categoriale che esprime l'*entità* di quell'ente, il *tipo* di esistenza che quell'ente *esercita* come suo atto più fondamentale, che include intensivamente ogni altro atto, ogni altra forma e attualità — è vera. L'essere è infatti è l'atto fondamentale (*esse ut actus*, «essere come atto»), trascendentale che ciascun ente esercita. Esso è l'atto di tutti gli atti categoriali, formalmente distinti, ed esprimibili da altrettanti predicati, *generici* (p.es., mangiare, comune a tutti gli animali) e *specifici* (p.es., miagolare, proprio dei gatti) che un ente esercita (P.es., «Poldo è un gatto» include «Poldo è un ente che mangia e che miagola» o «un animale che miagola»). Proprio perché «l'essere ente» è l'atto trascendentale comune a tutti gli enti (*esse commune*) che contiene tutti gli altri atti categoriali, formali, distinti, che diversificano ciascun ente, si può dire che l'essere come atto «contiene» in sé *tutti* gli atti formali di *tutti* gli enti. Infatti, «l'essere ente» «include» in sé «l'essere cane», ma anche «l'essere gatto», «l'essere uomo», «l'essere rosso», etc. (Cfr. anche nota 104, p. 292).

Siccome l'essere come atto proprio di un ente, include solo alcune attualità formali, ogni ente partecipa nella misura della sua essenza, dell'essere

Ma siccome ogni ente distinto possiede come sue proprietà solo *alcuni* di questi atti formali (p.es., un gatto, miagola, ma non abbaia, né nitrisce, né pensa e, a sua volta, Poldo miagola, ma in una maniera unica e irripetibile rispetto agli altri gatti) è chiaro che ogni ente partecipa dell'essere come atto nella misura della sua essenza concreta, della sua particolare entità, in quanto frutto di *un processo causale unico ed irripetibile, fisico e metafisico, che lo ha portato ad esistere e ad esistere «così»*. Per lo stesso motivo, è evidente che può esistere un unico ente che per la sua essenza partecipa di *tutto* l'essere. Questo ente, di per sé potrebbe essere l'universo di tutti gli enti distinti e differenziati, come afferma per esempio un Severino.

Dunque esiste un solo Essere sussistente in cui l'essenza coincide con tutto l'essere e «conterrà» intensivamente come Agente l'essere dell'universo di tutti gli enti

Ma questa nozione di un unico ente che contenga in sé, come tutte simultaneamente definite tutte le diversità, il grafico completo delle relazioni fra gli infiniti enti che compongo «l'intero dell'essere», come ama definirlo neo–hegelianamente Severino, è una nozione antinomica, come sia Tommaso nel Medio Evo, sia i moderni dopo Cantor, Russell e Gödel sanno bene. Dunque, questo Essere che contiene tutta la ricchezza dell'essere come atto la può possedere non come «universo degli enti distinti in quanto tutti *attualmente* ed *ugualmente* esistenti» — l'*universitas rerum* dei medievali o «l'intero dell'essere» di Severino —, ma come Agente Universale di tutto l'universo degli enti distinti attualmente esistenti, anche se non tutti *ugualmente* esistenti, esistenti cioè *allo stesso modo* (p.es., esistono in diversi tempi, con diversi gradi di necessità, con diverse proprietà, etc., in una parola con *entità* distinte).

L'essere come atto è un essere contenutistico e il contenuto dell'essere di ciascun ente è la sua entità

Come si vede e come spiegheremo meglio a partire dal prossimo capitolo, l'esistenza in senso tomista ha un *contenuto.* Essa, diversamente da quanto affermano i moderni, il puro porsi in atto di un'essenza. «Essere» dice qualcosa dell'ente, anzi ne dice quel «qualcosa» così fondamentale, «l'essere ente», l'*entità,* come contenuto del meta–predicato «esiste» che contiene qualsiasi altra cosa si possa validamente predicare di quell'ente. Per questo Tommaso dice che l'entità è *il primo trascendentale dell'ente,* quello che contiene in sé ogni altra predicazione, a cominciare dalle categorie o predicati più universali (Cfr. § 5.6.2, pp. 394ss. e § 6.2.2, pp. 422ss.).

Esiste non dice solo la fattualità di esser»ci» entro una data classe, ma dice anche la sorgente di tutte le proprietà e dunque di tutti i predicati: l'entità dell'ente

«Esiste» dice insomma non solo la *fattualità* dell'esser*ci* di un ente entro una data classe, come per Kant, Frege, Quine e tutti i moderni, ma insieme e inevitabilmente dice anche la sua *entità.* Dice anche, cioè, l'essere del suo *modo di esserci,* l'essere della sua essenza concreta, non dell'essenza astratta del genere, del concetto, ma l'essere dell'essenza concreta di un esistente, in quanto, metafisicamente, risultato di un processo causale. Più esattamente, l'esistenza dice anche ed inscindibilmente col «fatto» di esser*ci, la sorgente trascendentale* o *ante–predicativa,* l'*entità,* appunto, di tutti i «qualcosa» predicativi che si possono dire in modo *vero* di un certo ente individuo. Tutte nozioni che approfondiremo a partire dal prossimo capitolo (Cfr. in particolare 5.5, pp. 354ss.).

Essere come atto rispetto alla potenzialità limitante dell'essenza, analogo alla attualità della forma rispetto alla potenzialità limitante della materia

Attraverso la nozione di «essere come atto» di tutti gli atti formali esercitati dall'ente e che costituiscono la sua essenza, si esplicita quello che è il cuore della metafisica tomista: la distinzione *atto–potenza,* estesa dalla costituzione *forma–materia,* categoriale, dell'*essenza* dell'ente materiale, tipica della filosofia della natura aristotelica, alla costituzione trascendentale *essere–essenza* dell'ente stesso, qualsiasi esso sia, materiale o spirituale, naturale o artificiale (logico) (Cfr. 5.5, pp. 354ss.). Solo nell'Essere Assoluto

tale distinzione non si pone. Per dire la stessa cosa con le parole di Shanley:

> per l'Aquinate ogni ente (*ens*) è composto di due distinti principi: l'*esse* inteso come l'atto fondamentale che fa esistere l'*ens* e l'*essentia* intesa come potenza rispetto all'esse che determina formalmente il tipo di esistenza che esercita l'*ens* (Shanley 1999, 83).

**La determinazione della potenza sull'atto è in generale la limitazione di una potenzialità rispetto ad capacità attiva**

Per evitare da subito confusioni con i moderni, in particolare con quanto afferma Hegel con la sua dottrina dell'essere indeterminato nella sua *Logica*, la «determinazione» che l'essenza impone allo essere non può essere quella dell'atto rispetto alla potenza, nel senso molto più noto e divulgato, p.es., della forma rispetto alla materia. Come quando nel marmo informe viene attualizzata dallo scultore una certa figura in potenza in essa, o, in fisica, dall'instabilità di un certo processo dinamico emerge la struttura di un certo stato stabile finale del processo del tutto impredicibile dalle condizioni iniziali (attrattore caotico: Cfr. § 2.7.1, pp. 160ss.). Al contrario, qui si sta parlando della determinazione che la potenzialità dell'essenza (= potenza passiva, *potency* in inglese) impone all'atto dell'essere nel senso di una *limitazione della sua capacità attiva* (= potenza attiva, *power* in inglese). Come quando, sempre rispetto alla dicotomia più nota e divulgata forma-materia, si afferma che nessuna realizzazione materiale, individuale di una forma, ne esprime tutta la ricchezza. P.es., come quando si dice che nessun uomo (o gruppo umano) esprime tutta la ricchezza dell'*umanità* (contro il razzismo o il culto idolatrico della personalità). La potenza nella sua passività quindi è una sorta di «resistenza» che dissipa «il potenziale energetico», la potenzialità attiva, di una sorgente di attività. Nel caso dell'essenza, essa è potenza passiva che «dissipa», limitandola all'entità propria di un dato ente, la potenzialità attiva primaria, più fondamentale di tutte, dell'essere come atto.

**L'essere come atto viene limitato dall'essenza di un ente all'entità propria di quell'ente**

In questo senso *l'essere comune* a tutti gli enti, l'evidenza che tutti *esistono,* fondamento metafisico del p.d.n.c., viene limitato dall'essenza di ciascun ente all'*entità* propria di ciascuno, al modo di esistere tipico di ciascuno. Così l'*entità*–cavallo limita l'essere comune al modo di essere specifico del cavallo con i suoi tipici atti formali, con le sue tipiche *proprietà,* che *non sono* quelle del bue o dell'uomo. In questo senso l'essere come atto è *sorgente* nel senso di *potenza attiva* di tutte le distinte *entità* degli enti e, d'altra parte, le *proprietà* degli enti stessi vengono da Tommaso definite *passiones*, potenzialità in senso *passivo.*

Parlare di essere come atto rimanda ad uno schema causale di giustificazione dell'essere proprio come in Aristotele la forma come atto ad una spiegazione causale delle essenze

Questa terminologia, tipica della metafisica e della metalogica *tomiste*, rimanda ad un implicito *schema causale*. Affermare che l'essere comune a tutti gli enti è *atto* rimanda ad un *Ente Agente Unico*, proprio come nella filosofia della natura aristotelica parlare di forme come *atti* — e non come sostanze individue sussistenti in un mondo immateriale come nel platonismo — rimanda all'azione di enti–fisici–*agenti*–universali (i corpi celesti) sul sostrato materiale da cui queste forme vengono «edotte», ovvero attualizzate. In altri termini, la rete di relazioni causali «causante–causato» determina a livello degli enti le proprietà (*passiones*) di ciascuno. Nel caso degli enti fisici, determina che faccia parte della loro essenza o «natura» che particolari entità possano esistere solo in determinate localizzazioni spazio–temporali dell'universo degli enti fisici e non in altre.

Un'applicazione alla biologia evolutiva dello schema causale delle essenze: l'estinzione delle specie

Per esempio, determina, che i dinosauri possano esistere, almeno per cause naturali, solo in certe condizioni dell'ambiente terrestre che, secondo l'attuale teoria paleontologica, sarebbero state presenti nell'era mesozoica avanzata (ca. 210 milioni di anni fa'). Condizioni che sarebbero scomparse in maniera relativamente repentina (in circa un milione di anni!) oltre 60 milioni di anni fa', a causa di sconvolgimenti catastrofici del clima, forse derivanti dalla caduta di un enorme asteroide sulla terra. E questo dopo che i dinosauri avevano dominato la scena biologica sulla terra — sempre a quanto ci dicono i paleontologi — per ben 150 milioni di anni!

Giustificazione causale dell'essere e dell'essenza degli enti significa contingenza degli enti e dell'universo degli enti fisici

Dinosauri a parte, l'esistenza di ciascun ente con la sua propria entità richiede un ben preciso concorso causale di cause fisiche, che per la loro *contingenza* — l'essere causate a loro volta da cause che possono essere impedite dal concorso di altre cause — non possono esistere «sempre e dovunque». La fondazione metafisica dell'essere comune di questa rete causale immanente di enti causati–causanti, dal cui ordinamento le singole *nature* o *essenze* degli enti fisici sono determinate, esige una sua «attualizzazione» da parte di un unico *Agente Causale Metafisico*, simultaneo, universale e trascendente rispetto a qualsiasi localizzazione spazio-temporale all'interno dell'universo fisico, che dia consistenza metafisica — garantisca cioè la composizione metafisica essenza–atto d'essere — all'intera rete di relazioni e a ciascun «nodo» (ente) di essa. Sarà questo tema della fondazione metafisica della causalità nell'ordine naturale l'ultimo passo della sintesi teoretica della metafisica tomista che proporremo nel prossimo capitolo (Cfr. soprattutto § 5.5.2, pp. 356ss.).

## 4.6 Sommario del Quarto Capitolo

In questo capitolo, dopo aver dato due definizioni, rispettivamente della *filosofia della natura* e della *filosofia della scienza* (§ 4.1), abbiamo approfondito la questione del metodo scientifico (§ 4.2). Abbiamo così innanzitutto visto che ciò che caratterizza il metodo scientifico, tanto nelle scienze naturali come in quelle matematiche, (meta)logiche e metafisiche è il carattere *esplicativo* e non solo descrittivo delle loro enunciazioni, nonché il loro carattere *dimostrativo* e dunque *universale e necessario* delle loro affermazioni. Universalità e necessità che non vanno intese in senso *assoluto,* ma sempre *relativo* all'accettazione delle ipotesi o assiomi di partenza, nella misura in cui sono adeguati al loro oggetto, anche se mai esaustivi di esso.

Il linguaggio scientifico infatti non è mai *esaustivo* del proprio oggetto d'indagine proprio per la sua *incompletezza* che è ingrediente necessario della sua *consistenza* (non–contraddittorietà dei suoi enunciati). Infine si è ricordato come nella modernità si sia passati dalla supposizione di *apodittictà* e quindi di assolutezza delle dimostrazioni matematiche della scienza moderna, — una supposizione basata sulla presunzione dell'autoevidenza dei postulati della geometria euclidea e della fisica newtoniana — al metodo *ipotetico-deduttivo* della scienza contemporanea. Siccome tipico di una premessa ipotetica di un'argomentazione è che possa essere sia vera che falsa senza inficiare la necessità dell'implicazione, diviene essenziale lo studio della fondazione degli assiomi, lo studio delle condizioni sotto le quali l'assioma è vero o è falso, così da definire gli ambiti di applicabilità di un sistema formale, il suo dar origine a diversi modelli. Ma per far questo, come abbiamo visto in seguito, occorre innanzitutto passare dalla *logica delle proposizioni* propria del metodo ipotetico–deduttivo alla *logica dei predicati,* propria, per esempio, del metodo *sillogistico* di dimostrazione.

In § 4.2.2 ci siamo dedicati così ad un approfondimento del metodo *ipotetico–deduttivo,* delle sue potenzialità e dei suoi limiti. Abbiamo studiato le *origini empiriste* del metodo (§ 4.2.2.1), legate all' opera pionieristica di Wittgenstein e alla sua ridefinizione della filosofia e dell'epistemologia come *analisi del linguaggio.* Abbiamo quindi visto l'influenza dell'opera di Wittgenstein sulla nascita del Circolo di Vienna e del neopostivismo (empirismo) logico (§ 4.2.2.2). Quindi ci siamo soffermati (§ 4.2.2.3) sulla giusta critica di Popper alla pretesa neopositivista che il controllo empirico delle ipotesi all'interno del metodo ipotetico–deduttivo potesse servire a giustificare logicamente (necessitativamente) la *verificazione* delle ipotesi stesse. Il controllo empirico in quell'approccio può giustificare la *falsificazione* delle ipotesi e, al massimo, le evidenze empiriche possono *corroborare* un'ipotesi, ovvero incrementare il grado di affidabilità di un'ipotesi e

quindi la *probabilità* della sua verità, senza poterne mai garantire la *certezza*, per quanto sempre relativa e mai esaustiva dell'oggetto. Ciò che è invece è risultato inacettabile, perché *falso,* della critica popperiana è la sua affermazione che non possa esistere una metodologia logica che giustifichi la scoperta delle ipotesi e la fondazione della loro verità come *adeguazione all'ente, al referente* di una determinata enunciazione. Solo che la referenza all'oggetto non può essere fondata mediante una *procedura di giustificazione* di una proposizione già costituita, ma essa deve entrare nella *procedura medesima di costituzione della proposizione* in dipendenza dall'oggetto cui essa per ciò stesso *si riferirà.* Per questo, quando si affrontano questi problemi, non ci si può muovere nell'ambito del *metodo ipotetico–deduttivo* e della sua *logica della giustificazione* all'interno del *calcolo delle proposizioni**, ma nell'ambito del *metodo analitico* e della sua *logica della scoperta,* all'interno del calcolo dei predicati e del *sillogismo,* sia *induttivo* (non–dimostrativo) che *deduttivo* (dimostrativo). Questa stessa necesità l'abbiamo riscoperta esaminando i *limiti ontologici del metodo ipotetico–deduttivo* (§ 4.3). Seguendo l'analisi di Quine abbiamo visto infatti che, muovendosi nell'ambito dei principi neo–positivisti, il *problema della referenza di una proposizione all'oggetto extra–linguistico* diviene logicamente irrisolvibile. Al massimo si può giustificare che ciò cui un dato linguaggio si riferisce è equivalente a ciò cui un altro linguaggio si riferisce, così da rendere sostituibile l'uno all'altro, ma nulla più, rimandando indefinitamente la soluzione del problema.

La *necessità* e non la semplice *probabilità* della *verità* di una proposizione può essere provata solo all'interno della *logica predicati* e del *metodo sillogistico* di dimostrazione (§ 4.4) come *necessità logica dell'inerenza soggetto–predicato,* fondata su una *necessità di una relazione causale soggiacente,* espressa mediante la cosiddetta inerenza al *soggetto* della conclusione del *termine medio* contenuto nelle premesse (§ 4.4.1). In tal caso, non serve un numero sempre crescente di evidenze empiriche (= *induzione enumerativa*) per corroborare la verità della proposizione, ma anche una sola evidenza empirica può essere sufficiente (= *induzione costitutiva*). Abbiamo dato un *esempio intuitivo* di tale procedura (§ 4.4.2), particolarmente felice nel mostrare l'efficacia del metodo quando la premessa maggiore del sillogismo «causale» considerato sia un enunciato universale di tipo matematico (*legge matematica* e/o *fisico–matematica*). Malgrado l'utilità pedagogica di un tale esempio è bene non dimenticare il nucleo del problema che consiste, nel caso delle scienze sperimentali di cui ci si sta interessando, nel come passare da una premessa maggiore universale (legge matematica) ad una minore *singolare,* perché relativa ad evidenza(e) sperimentale(i), su cui fondare la necessità dell'inerenza soggetto–predicato nella conclusione. Ciò non può essere giustificato, se non mediante la procedura di *induzione costitutiva* illustrata, dall'interno del metodo sillogistico aristotelico, ma usando la metalogica tomista. La metalogica tomista dell'induzione costitutiva si

fonda sull'ontologia tomista dell'essere intensivo o «essere come attó» grazie alla quale si può affermare, senza cadere nell'impredicatività, l'esistenza (essere proprio) dell'individuo (= parte) indipendentemente dall'esistenza della classe (= totalità) entro cui dev'essere indotto (sussunto) (§ 4.4.3).

In § 4.5, a mo' di conclusione, ci siamo perciò soffermati sull'importanza che avrebbe una formalizzazione della metafisica di Tommaso, in un approccio di filosofia analitica davvero adeguato al suo pensiero. Un approccio, cioè, che sia capace di operare la distinzione fra la nozione di essere — ridotta alla pura *esistenza estensiva* (appartenenza di classe) che rende equivalente l'affermazione dell'esistenza / non–esistenza di un oggetto all'atto della sua enumerazione 1/0 — tipica del pensiero kantiano e fregeano e, in generale, del pensiero moderno (§ 4.5.1), dall'essere come atto (*intensivo*) tipico del pensiero tomista, con la sua distinzione fra *essere dell'essenza* (entità) ed *essere dell'esistenza* (essere comune), basato sulla differenza reale esistente fra *essere* (come atto) ed *essenza* (come potenza) nella costituzione metafisica di ogni ente (§ 4.5.2). Di tale teoria tomista offriremo una presentazione storico–genetica all'interno del pensiero classico o pre–moderno, nel prossimo Capitolo Quinto.

## 4.7 Bibliografia del Quarto Capitolo

**Quando le date tra parentesi nella referenza sono diverse da quelle in calce al termine della citazione bibliografica, le prime si riferiscono all'edizione (in lingua) originale dell'opera.*

BARONE F. (1977). *Il neo-positivismo logico*, 2 vv., Laterza, Bari, 1977².

BARROW J. D. & TIPLER G. J. (1968). *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford U.P. , Oxford.

BASTI G. (1997). «L'approccio aristotelico-tomista alle aporie dell'induzione». In: BASTI *ET AL.* (1997), pp. 41-95.

— (2000). «In principio… Tempo e creazione», in *Quale globalizzazione? «L'uomo planetario» alle soglie della mondialità*, a cura di M. Mantovani e S. Thuruthiyil, LAS, Roma, 2000, pp. 149-186.

BASTI G., PERRONE A. L. (1996). *Le radici forti del pensiero debole: dalla metafisica, alla matematica, al calcolo*, Il Poligrafo e Pontificia Università Lateranense, Padova-Roma

BASTI G., BARONE F., TESTI C. (1997). *Il fare della scienza. I fondamenti e le palafitte*, Il Poligrafo, Padova.

BASTI G., STRUMIA A., TESTI C.A. (1999). (a cura di) *Fides et Ratio:* analitici, continentali e tomisti, *Divus Thomas* **24-3** (numero monografico), ESD, Bologna.

BOCHENSKI J.M. (1956). *La logica formale*, voll.1-2, Einaudi, Torino, 1972.

— (1995). *Nove lezioni di logica simbolica*, ESD, Bologna.

CARNAP R. (1934). *Logische Syntax der Sprache*, Wien, 1934.

CASTAGNINO M., SANGUINETI J.J., (2000). *Tempo e universo. Un approccio filosofico e scientifico*, Armando, Roma.

CELLUCCI C. (1998). *Le ragioni della logica*, Roma–Bari: Laterza, 2000[2].

ELDERS L. (1996). *La filosofia della natura di S. Tommaso d'Aquino. Filosofia della natura in generale. Cosmologia. Filosofia della natura organica. Antropologia filosofica*, Libreria Editrice Vaticana, Città del Vaticano.

FABRO C. (1961). *Partecipazione e causalità*, SEI, Torino.

FEYERABEND P. K. (1973). *Contro il metodo*, Feltrinelli, Milano.

HARRÉ R. (1972). *Philosophy of science*, Oxford U.P., Oxford.

HAWKING S. (1988).*Dal big-bang ai buchi neri*, Rizzoli, Milano.

HEISENBERG W. (1931). «Kausalgestez und Quantenmechanik», *Erkenntnis* **2:** 172-182.

— (1955). *Natura e fisica moderna*, Garzanti, Milano, 1985.

HENRY D. P. (1972). *Medieval logic and metaphysics*, Hutchinson Univ. Library, London.

KUHN T. S. (1962). *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino, 1978[1]

LAKATOS I. (1974). «La falsificazione e la metodologia dei programmi di ricerca scientifici», in: LAKATOS I., MUSGRAVE A. (1974), pp. 164-276.

— (1996). *La metodologia dei programmi di ricerca scientifici*, Il Saggiatore, Milano.

LAKATOS I., MUSGRAVE A. (1974). (a cura di), *Critica e crescita della conoscenza*, Milano, Feltrinelli, 1980.

MARITAIN J. (1959). *I gradi del sapere. Distinguere per unire*, Morcelliana, Brescia, 1981.

MIGNUCCI M. (1969) (ED.). ARISTOTELE, *Gli Analitici Primi. Introduzione, traduzione e note a cura di M. Mignucci*, Loffredo, Napoli, 1969.

OLDROYD D. (1998). *Storia della filosofia della scienza, da Platone a Popper e oltre*, Mondadori, Milano.

PERA M. (1981). *Hume, Kant e l'induzione*, Il Mulino, Bologna.

POPPER K. R. (1959). *Logica della scoperta scientifica*, Einaudi, Torino 1998. (La prima edizione in tedesco è del 1934)

— (1963). *Congetture e confutazioni*, Il Mulino, Bologna, 1985.

— (1966). *La società aperta e i suoi nemici*, Armando, Roma, 1986-1994.

— (1969). *Scienza e filosofia. Problemi e scopi della scienza*, Einaudi,

Torino, 1979[6].
— (1978). *La ricerca non ha fine. Autobiografia intellettuale,* Armando, Roma.
QUINE W. V. O. (1984). «Sticks and stones or the ins and the outs of existence», in: L. S. ROUNDER (ED.), *On Nature,* Boston Univ. Studies in Philosophy and Religion, vol.6, University of Notre Dame Press, Notre Dame Ind., pp. 13-26.
— (1986). *Il problema del significato,* Ubaldini, Roma.
SHANLEY B.J. (1999). «Tomismo analitico» in: BASTI *ET AL* (1999), pp. 79-92.
STRAWSON P.F. (1992). *Analysis and metaphysics. An introduction to philosophy,* Oxford University Press, Oxford.
STRUMIA A (1992). *Introduzione alla filosofia della scienza,* ESD, Bologna.
WALLACE W. A. (1996). *Modeling of Nature. Philosophy of science and philosophy of nature in synthesis,* Catholic University of America Press, Washington D.C.
WEINBERG S. (1977). *I primi tre minuti,* Mondadori, Milano.

# 5. Metafisica classica e pensiero moderno

*Dalle origini della riflessione sull'essere nel pensiero greco con i filosofi pre-socratici ed in particolare Parmenide, alla soluzione dei problemi posti dalla metafisica parmenidea al pensiero greco nelle metafisiche di Democrito, Platone ed Aristotele. Fino a giungere al pensiero di Tommaso d'Aquino, visto come uno dei culmini del pensiero classico pre–moderno. Approfondimento della dottrina dei trascendentali come punto di svolta esemplificativo fra pensiero classico e moderno, nella loro trattazione tommasiana e kantiana.*

## 5.1 L'essere: dalle origini a Parmenide

### 5.1.1 Il senso di questa ricostruzione

Qual è il *proprium* della metafisica tomista dell'essere come atto

La questione dell'essere e della distinzione fondamentale fra *l'entità* (essere dell'essenza) e *l'esistenza* (essere comune) di un ente, fondamento di una teoria dell'*essere* (= metafisica) e della *verità* (= metalogica) che non cada nell'inconsistenza di una teoria formalista dell'uno e dell'altra ci ha introdotti in quell'intimo rapporto che esiste fra l'*uomo* e l'*essere*. Tale rapporto costituisce il *leit–motiv* di tutto il pensiero metafisico occidentale che noi qui ripercorreremo con la finalità di mostrare, in forma iniziale ed intuitiva, il *proprium* della metafisica e della metalogica di Tommaso d'Aquino.

Se prendiamo il filo d'Arianna del rapporto uomo–essere, la relazione fra i due s'inverte nel pensiero moderno rispetto al pensiero classico

Se prendiamo il pensiero di Tommaso come culmine del pensiero metafisico classico pre–moderno, greco e medievale insieme, emerge con chiarezza qual è la differenza fondamentale fra pensiero classico e pensiero moderno. Insieme a questo, però, emerge qual è la loro differenza col pensiero contemporaneo post–moderno, chiamato ad operare una sintesi creativa fra i due. Infatti, se seguiamo «il filo d'Arianna» del rapporto uomo–essere vediamo che tale rapporto si rovescia nella modernità rispetto alla classicità. Nella classicità era l'uomo a dover adeguare gli *a-priori* della sua mente individuale all'essere della cosa. È l'essere della cosa ed in particolare la sua *entità* ad avere ruolo costitutivo, *trascendentale,* dell'universale logico. Nella modernità «la rivoluzione copernicana» del pensiero teorizzata da Kant fa sì che sia l'essere della cosa a doversi ade-

guare *all'a-priori* di una mente elevata per questo ad un ruolo meta-individuale, costitutivo dell'universale logico (trascendentalismo)[106]. Il fondamento di tale rivoluzione è legato alla necessità di dover fondare attraverso l'a-priori logico la medesima *necessità* causale nell'ordine ontologico. Non è dunque la necessità causale nell'ordine ontologico a fondare la necessità della legge nell'ordine logico, ma *viceversa* (Cfr. § **2.7.2**, pp. 162ss.).

Termine della ricostruzione: la dottrina dei trascendentali, del fondamento ante-predicativo di ogni predicazione vera. In Tommaso (= ente), in Kant (= autocoscienza)

Termine di questa nostra sommaria ricostruzione storico–teoretica sarà, così, la dottrina tomista delle *determinazioni trascendentali* dell'essere e della prima di esse, *l'entità*, fondamento ante–predicativo o appunto «trascendentale» di ogni *predicazione* vera che può essere attribuita al soggetto di una proposizione denotante un particolare *esistente*. Tale dottrina metalogica tomista, intimamente legata a quella metafisica, sempre di Tommaso, della distinzione reale fra *essenza e atto d'essere* e quindi fra *entità* o «essere dell'essenza» ed *esistenza* o «essere comune» che, a nostro avviso costituisce il culmine del pensiero metafisico classico *pre–moderno*, sarà da noi esposta in contrapposizione con la dottrina del *trascendentale moderno dell'autocoscienza*, «d'Io–penso» puramente formale, senza contenuto, di Descartes e Kant, che pone nell'*autocoscienza* e quindi nell'*evidenza* il fondamento della verità e della necessità della *predicazione*.

Fondare verità non sull'essere ma sulla coscienza = fondamento del pensiero moderno

Il fondare la verità e la necessità logiche non sull'essere dell'ente conosciuto e delle sue relazioni reali (causali), ma sul pensiero auto–cosciente di una soggettività meta–individuale o «trascendentale», costituisce infatti il punto di svolta metafisico e metalogico fra pensiero classico e moderno, ovvero, per dirla nei termini di Kant, il nucleo della *rivoluzione copernicana* moderna nel pensiero filosofico.

In ogni caso, relazione costitutiva fra pensiero ed essere: uomo = animale *metafisico*

In ogni caso, ciò che resta assodato e costituisce perciò il filo d'Arianna del pensiero occidentale tanto classico come moderno è la relazione costitutiva — del pensiero per il classico (l'essere fonda il pensiero), dell'essere per il moderno (il pensiero fonda l'essere) — fra pensiero ed essere. In questo senso, non solo l'uomo è un *ente* fra gli enti, ma è l'unico ente che ha la potenzialità di *relazionarsi* all'essere di ogni ente, tanto che due delle determinazioni trascendentali di ogni ente, *verità* e *valore*, dipendono propriamente dalla relazione fra l'essere di ogni ente e l'intelletto e la volontà umane. L'uomo è dunque, comunque lo si consideri, *animale metafisico* per eccellenza, o, per usare una felice espressione di Martin Heidegger, «il pastore dell'essere», colui che lo conduce dalle tenebre dell'incognito alla luce della conoscenza.

---

[106] Ricordiamo l'espressione posta da Kant nell'*Introduzione* alla *Critica del Giudizio* secondo cui era l' «Io trascendentale» il moderno *legislatore della natura*. Un ruolo che nella classicità era di Dio…

### 5.1.2 La scuola di Mileto

Relazione fra essere e pensiero nei presocratici come ricerca razionale e non mitico-religiosa sul principio dell'essere

L'evidenziazione di questo intimo rapporto fra l'intelletto umano e l'essere risale alle origini del pensiero occidentale, ovvero al culmine della ricerca dei filosofi presocratici sul *principio* (ἀρχή) di tutte le cose, la *sorgente prima* dell'essere di tutte le cose esistenti. Una ricerca non più d'indole *mitico–religiosa* come nel pensiero greco delle origini — si pensi alla cosmogonia di Esiodo, per esempio —, ma d'indole *razionale,* teoretica, «scientifica» nel senso originario di una ricerca razionale di *spiegazione* di ciò che si manifesta all'evidenza empirica.

La prima scuola filosofica, la cosiddetta *Scuola di Mileto* (Asia Minore) si caratterizza per questa ricerca sul *principio* di tutte le cose:

Talete: principio = acqua

- Per *Talete* (640-560 a.C.): ἀρχή = *acqua,* principio vitale di tutte le cose.

Anassimandro: l'indefinito

- Per *Anassimandro* (610-547): le cose sono tali in quanto *definite,* quindi ἀρχή= *indefinito* (ἄπειρον).

Anassimene: aria

- Per *Anassimene* (585-528): la materializzazione dell'ἄπειρον di Anassimandro lo portò a definire l'ἀρχή = *aria,* origine di tutte le cose attraverso un meccanismo di *rarefazione-condensazione.*

### 5.1.3 La scuola di Pitagora

Pitagora: numeri (punti) essendo tutte le cose enti geometrici

La seconda scuola filosofica degna di nota, la *Scuola Pitagorica,* si sviluppò nella Magna Grecia a partire dall'insegnamento del suo fondatore *Pitagora* (Crotone, 570 ca.). Egli sviluppò le tesi di Anassimandro e Anassimene dandogli, per la prima volta nella storia del pensiero occidentale un fondamento di tipo *matematico.* Così, per lui tutte le cose derivano dalla sintesi di *definito-indefinito,* di *limitato-illimitato.* Quindi, l'essenza di tutte le cose è essere *figure geometriche.* Esse ultimamente sono costituite di *punti* o unità indivisibili, quindi per Pitagora *punti = numeri.*

Tutte le cose sono misurabili in quanto estese e numerabili in quanto composte da indivisibili

Così, tutte le cose sono definite in quanto *misurabili* (in quanto enti estesi (figure geometriche)) e *numerabili* (in quanto composte da indivisibili). La realtà nasce allora dall'*armonia degli opposti*: innanzitutto la prima e fondamentale opposizione, quella di *limitato-illimitato* (ovvero, rispettivamente, del *dispari* (uno, limitato, forma) e del *pari* (due, illimitato, materia)), visto che dall'uno e dal due tutti i numeri e quindi anche tutte le figure geometriche possono essere costituite. Le altre opposizioni derivate dalla precedente sono quella di *diritto–curvo*; *quiete–movimento*, etc.

Scienza moderna in qualche modo relazionata al sogno pitagorico

Come già abbiamo anticipato nel primo capitolo, la nascita della scienza moderna con la sua pretesa di ridurre le grandezze fisiche e le loro variazioni (i corpi e i loro moti in quanto matematicamente definibili) ad oggetti e relazioni geometriche diventa una sorta di realizzazione del sogno metafisico pitagorico. Non per nulla Copernico, agli albori della modernità, proprio alla teoria delle armonie pitagoriche si riferisce per giustificare metafisicamente la sua teoria del moto dei pianeti.

## 5.1.4 Parmenide di Elea

In Parmenide prima correlazione metafisica e antropologia nella distinzione delle due «vie». Principio = essere

Un primo collegamento fra la problematica metafisica e quella antropologica si ha con un altro filosofo della Magna Grecia, Parmenide di Elea (l'attuale Velia nel Cilento: 520-440) con cui per la prima volta la nozione di *essere* viene tematizzata nel pensiero occidentale. Parmenide poté così distinguere fra due categorie di uomini: coloro che «dormono» nella cosiddetta *via dell'opinione* (δόξα), accettando come vera la commistione fra essere e non-essere legata alla *molteplicità* quantitativa, alla *diversità* qualitativa ed al *divenire,* e coloro che si sono «risvegliati» alla coscienza dell'«essere» e percorrono così la *via della verità.* Il principio di tutto è l'*essere* inteso come assoluta *positività* e senza alcuna commistione col *non-essere* inteso come assoluta *negatività*:

> È necessario dire e pensare che l'essere sia: infatti *l'essere è e il non essere non è.* Queste cose ti esorto a considerare (Parmenide, *Framm.* 6).

Identità fra pensiero ed essere: inizio razionalismo

L'essere dunque è la sola cosa pensabile ed esprimibile. Di qui la posizione di Parmenide che afferma l'*identità tra il pensiero e l'essere* e dunque pone l'*inizio del razionalismo,* della confusione sistematica, da una parte, in *metafisica,* fra *entità* ed *esistenza,* dall'altra in *ontologia* ed *epistemologia,* fra l'essere della *cosa* (ente naturale) e quello del *concetto* ad essa riferentesi (ente logico): «... Infatti, *lo stesso è pensare ed essere*» (*Framm.* 3). In altre parole, l'errore di Parmenide consiste nel concepire l'essere *univocamente,* come un «genere generalissimo», come un'unica nozione, la più universale di tutti, e non in molti *modi* come, invece scopriranno Platone, Aristotele ed il resto del pensiero metafisico classico.

Prima, confusa, formulazione del p.d.n.c.

D'altra parte si deve a Parmenide la formulazione di quella che è il *principio logico fondamentale,* il cosiddetto «principio di non contraddizione» (p.d.n.c.) che per Parmenide, causa del suo razionalismo, è anche il *principio metafisico fondamentale,* senza distinguere, com'è invece necessario, fra uso(i) e formulazione(i) *metalogica(he)* del principio e uso(i) e formulazione(i) *metafisica(he)* e/o *ontologica(he)* dello stesso, com'è invece indispensabile per evitare confusioni ed errori

Carattere *apparente* de:

Con queste premesse Parmenide afferma il carattere puramente *apparente* (= via dell'opinione) de:

1. Molteplicità quantitativa

- *La molteplicità*: per dividere quantitativamente un ente da un altro, devo dividerlo mediante il non-essere, ma il non-essere non è, quindi l'essere è uno.

2. Diversità qualitativa

- *La diversità*: per distinguere qualitativamente un ente da un altro dovrei ammettere la realtà del non-essere (l'«esser-questo» di un ente implica necessariamente il «non-esser-quello»); ma il non-essere non è, quindi l'essere è identico.

3. Divenire nelle sue diverse forme

- *Il divenire*: per affermare un qualsiasi divenire, anche il solo moto locale, devo ammettere un passaggio dall'essere al non-essere e viceversa (p.es., nel passaggio A → B A diviene non-A e non-B diviene B). Ma il non essere non è, quindi l'essere è immobile.

Essere = sfero: contraddittorietà di tale nozione non appena ci si domanda se è limitato/illimitato (Melisso di Samo)

L'ente, ciò che esiste, ha da essere dunque *unico, identico, immobile*: di qui la nozione di essere come *sfero*, come un unico ente (*panenteismo* = tutto è un solo ente) che in qualche modo dovrebbe essere in grado di *autocontenersi*. Ma, come ci si è accorti immediatamente, è proprio qui il problema. Infatti, il nodo teoretico che è subito apparso ed è stato tematizzato da uno dei discepoli di Parmenide, Melisso di Samo (ca. 444/439 a.C.), è il seguente: se l'essere è un unico ente, esso non può essere *limitato* perché illimitato indica un non-essere, una negatività. Esso sarà dunque limitato, appunto uno «sfero». Ma se è limitato e tutto l'essere è per definizione nello sfero, chi *limiterà* lo sfero? Tale limite dovrebbe essere «fuori» dello sfero. Ma se tutto l'essere è nello sfero chi potrà limitarlo se non il non-essere? Ma il non–essere non è... Quindi, comunque l'essere venga considerato, limitato o illimitato, avrà a che fare col non–essere: dunque, antinomia. Come si vede, la metafisica parmenidea, come ogni metafisica razionalista — ma anche, modernamente, ogni metalogica formalista —, è intimamente esposta ad antinomia.

## 5.2 L'atomismo di Democrito

### 5.2.1 Prima risposta a Parmenide

Problema: salvare i frenomeni senza venire meno al p.d.n.c., base di ogni razionalità logica del discorso e delle teorie

A parte quella appena fatta che è la critica di fondo ad ogni parmenidismo e/o ad ogni razionalismo dell'identità metafisica essenza-esistenza ed epistemologica essere-idea, i filosofi susseguenti si preoccuparono di trovare una risposta al «problema di Parmenide». Tale problema consiste nel seguente: come coniugare la nozione di essere alle «evidenze» della molteplicità numerica, della diversità qualitativa e del divenire temporale

degli enti? Secondo la famosa espressione di Aristotele, il problema è quello di *salvare i fenomeni* (= ciò che appare evidente) senza contraddire alle leggi del pensiero, innanzitutto al p.d.n.c, al quale Aristotele dedicherà pagine memorabili nella sua *Metafisica*.

Prima risposta a Parmenide da parte di Democrito: non contraddittorietà del molteplice quantitativo

Una prima risposta a Parmenide si ha attraverso Democrito di Abdera (Tracia, 460-370) che dimostra la *non-contraddittorietà del molteplice*. Infatti, se Zenone (discepolo di Parmenide) aveva mostrato la contraddittorietà della *divisibilità all'infinito* dell'esteso materiale, d'altra parte per ammettere l'esistenza di parti ultime indivisibili, o *atomi*, della realtà estesa bisognava superare l'accusa di contraddittorietà della nozione di *molteplicità numerica* fatta da Parmenide e Zenone.

Per giustificare la molteplicità non serve l'esistenza del *nulla* (= non essere assoluto), ma basta il *vuoto* (= non essere o assenza di materia)

L'idea di Democrito è semplice e potente e costituisce un enorme passo in avanti per la storia del pensiero occidentale, anche se spetterà a Platone svilupparla fino in fondo. Per dividere fra loro gli atomi, come parti ultime dell'esteso, non occorre che, contraddittoriamente *esista il non–essere*, ma che esista il *vuoto*, ovvero l'*assenza di materia*. L'entità del vuoto non è il non-essere in assoluto, ma la pura e semplice *privazione o assenza* di qualcosa, nella fattispecie, di materia. Ciò che è contraddittorio come, espliciterà più tardi Platone nel suo dialogo intitolato appunto *Parmenide*, è la contrapposizione *assoluta* fra essere e non-essere: ma nulla vieta che qualcosa *sia* rispetto a qualcosa e *non-sia* rispetto a qualcos'altro. Il vuoto è assenza di materia non l'assurda «esistenza del non-essere». Il vuoto non è il nulla, ma il «non-essere di qualcosa». Ugualmente — ma a questa raffinatezza il pensiero matematico arriverà solo più tardi, nel Medio Evo, con la matematica araba — lo «0» rispetto all'«1» con cui enumero una certa entità discreta o «atomo» non è affatto un «nulla», ma denota l'assenza di quell'entità o, appunto il vuoto.

## 5.2.2 L'atomismo metafisico

Riduzionismo atomista: Ridurre differenze qualitative (diversità) a differenze quantitative

L'idea di Democrito è dunque quella di ridurre tutte le differenze anche *qualitative* (= *diversità*) fra gli enti a *differenze quantitative* (pieno-vuoto, uno-molti) fra atomi. Infatti, per Democrito, tutti gli atomi si differenziano:

- *In se stessi*, per la figura: ogni atomo ha per Democrito una determinata figura geometrica, intesa come sintesi di pieno e di vuoto.
- *Rispetto agli altri*, per *ordine* e dunque per *posizione*. Ogni corpo composto di atomi si differenzia così dagli altri per numero e/o figura e/o ordine e/o posizione degli atomi che lo compongono.

Ridurre tutte le forme di divenire ad una sola: il divenire estrinseco ai corpi del moto locale

Ulteriore risultato di Democrito è quello di poter giustificare in questo modo anche *una particolare forma di divenire*: il *moto locale*. Il moto locale infatti non implica alcun passaggio dall'essere al non-essere, ma semplicemente un *cambio di posizione* di un atomo (= pieno) da un posto *vuoto* ad un altro posto *vuoto*. Di qui l'idea che gli atomi, muovendosi localmente attraverso traiettorie assolutamente deterministiche, formino, combinandosi, *diversi mondi possibili*.

Ridurre ogni corpo a collezione di atomi senza l'unità intrinseca della sostanza che suppone atto-potenza

La cosmologia democritea è dunque il primo e più fondamentale esempio di *atomismo metafisico*. Ogni corpo altro non è che somma o composizione di *atomi*, dunque senza alcuna *unità intrinseca*: manca ancora a Democrito l'idea aristotelica dell'*essere-in-atto* del «tutto», dell'*essere–insieme–di–parti* (σύνολον, *sinolo*) o «sostanza», *e dell'essere-in-potenza* delle parti materiali costituenti, e quindi manca a lui anche l'altra idea aristotelica del corpo come «sinolo» di *materia e forma* (Cfr. § 5.4).

Il riduzionismo metafisico dell'atomismo investe anche l'antropologia (spiegazione atomista della psiche)

Siffatto atomismo, proprio perché metafisico, tendente cioè a fornire la spiegazione ultima del reale, investiva anche l'*antropologia*. L'anima dell'uomo era per Democrito costituita da atomi *più leggeri* (aria e fuoco) distribuiti negli organi di senso, nei nervi e nelle membra[107] e per questo gli stati psichici si distinguevano in qualche modo da quelli fisici del corpo, formato in prevalenza di atomi più pesanti. Come si vede, tutte le attuali teorie *materialiste* della psiche, che la identificano con le modificazioni elettrochimiche del Sistema Nervoso Centrale (SNC), sono sempre riedizioni della vecchia antropologia metafisica democritea.

E la gnoseologia: sensismo come teoria dell'identità nella sensazione fra stato fisico dell'organo e stato psichico mentale

Ugualmente, la sua teoria della conoscenza (= *gnoseologia*) è storicamente la prima e più fondamentale forma di *sensismo*, implicante un ultima *identità* fra stato *fisico* (dell'organo di senso) e stato *psichico* (della facoltà sensoria). Ciò era detto in forma ingenua da Democrito, affermando che la sensazione avveniva perché gli atomi, staccandosi dalle cose, penetravano nei pori degli organi di senso della *stessa figura* dell'atomo in entrata (p.es., pori triangolari con atomi triangolari, etc.) così da colpire, eccitare, gli atomi dell'anima e provocare la sensazione.

---

[107]Ricordiamo che per l'antica neurofisiologia – secondo un'ipotesi che è rimasta valida praticamente fino a Luigi Galvani (1737-1798) e alle sue esperienze dell'elettricità sul corpo appena scuoiato delle rane – lo stimolo nervoso si trasmetteva a distanza nei nervi mediante impulso *pneumatico* (aria compressa). I nervi infatti da tutta la fisiologia antica, Bibbia inclusa, erano considerati come piccoli capillari che contenevano *vapore* (dunque "aria, acqua e fuoco", ovvero i famosi "spiriti corporei" di cui parlerà anche Descartes) per la trasmissione dell'impulso senso-motorio a distanza fra le membra del corpo.

Tutte le teorie moniste in gnoseologia, moniste anche in psicologia, anche se ciò non applicabile a Democrito perché distinzione materia-spirito è di Platone

Viene così verificato per la prima volta un principio che ci ritornerà utile in tutta l'esposizione storica delle varie antropologie filosofiche dell'occidente: tutte le teorie che sono *moniste* in gnoseologia (= *identità* fra la forma dello stato fisico nell'organo e quella dello stato cosciente nella psiche) sono *moniste* anche in psicologia (= *riduzione* dell'anima a funzione del corpo: monismo *materialista*). Se di fatto Democrito non fece mai aperta professione di materialismo come i suoi succedanei antichi (p.es., gli epicurei e gli scettici Pirrone e Sesto Empirico) e moderni (p.es., D. Hume e i positivisti e neopositivisti degli ultimi due secoli) è solo perché ancora Platone non aveva distinto fra i due mondi, *spirituale* e *materiale*: l'*iperuranio* (= «al-di-là del cielo») delle forme immateriali o essenze sussistenti, e il mondo *corporeo* (= «sotto il cielo») degli enti fisici.

## 5.3 L'idealismo di Platone

### 5.3.1 La scoperta degli universali

La scoperta degli universali logici

Già discutendo delle conseguenze ontologiche dei teoremi d'incompletezza di Gödel abbiamo avuto la possibilità di definire la scoperta degli universali logici la scoperta fondamentale, *fontale* della scienza occidentale nella sua distinzione fra scienze logico–matematiche e scienze fisiche.

Ipotesi della natura spirituale dell'anima legata alla scoperta della natura necessariamente immateriale degli universali logici

Come abbiamo visto, fin dalle origini dell'antropologia filosofica in Parmenide, la problematica *gnoseologica* è intimamente legata a quella *metafisica*. Ciò appare in tutta la sua evidenza in Platone cui si deve la prima *teoria dualista* in cosmologia e in antropologia. Nel cosmo esistono due mondi, l'uno «materiale», composto di enti in continuo divenire, l'altro «immateriale», composto di enti immobili nella loro fissità senza divenire. Ugualmente, il microcosmo–uomo non è una sostanza unica, un'unità psicofisica o «persona», come più tardi, nel Medioevo sarà definita, ma la somma di due sostanze, l'una spirituale, l'anima, l'altra materiale, il corpo. Tale teoria dualista, della natura *spirituale* o *immateriale* dell'anima, è legata alla scoperta fondamentale della gnoseologia platonica: la natura necessariamente *immateriale* degli universali concettuali, dell'oggetto immediato dell'atto di pensiero che si esprime in proposizioni analitiche (elementari e logicamente invertibili).

Dopo Democrito unità/molteplicità della quantità legata alla materia. Unicità dell'universale è non-numerabile.

Se, dopo Democrito, era diventato evidente al pensiero greco che la *quantità*, sia intesa come estensione che numerabilità, è legata alla materia, ciò che caratterizza il concetto, è la sua *universalità*, ovvero *l'unicità non iterabile, non moltiplicabile* dell'*idea*, dell' εἶδος. Se quindi è non moltiplicabile e perciò non ripetibile in una successione numerabile, l'idea avrà una natura necessariamente *non-quantitativa* e quindi *non-materiale*. Un universale, un concetto intellegibile della mente, ciò a cui si riferisce ultimamente ogni definizione del «che cos'è» l'entità di una cosa o la sua «essenza», non è né uno né molti, è un *unico*, un *irripetibile*.

Tipica dell'unità quantitativa è la sua *iteratività* che è precisamente ciò che l'universale *non* è: esso si riferisce solo a se stesso, è *autoreferenziale*

Tipico della quantificazione numerica è infatti la sua *iteratività*, l'attribuibilità estrinseca della medesima unità ad una molteplicità di enti anche diversi fra loro. Viceversa, quando si definisce qualcosa attribuendole una certa *qualità* in grado di distinguerla da qualsiasi altra, si sta indicando qualcosa di *intrinseco* a quella cosa. Un qualcosa che le appartiene in maniera così intima, da essere in grado di connotarne la sua *unicità irripetibile rispetto a qualsiasi altra*, il suo essere «universale», *unum versus alia*, «unica–rispetto–ad–altri», il principio del suo essere *identica solo a se stessa* e perciò *diversa da altro da sé*. «Universale» indica appunto quella proprietà di ogni «idea» di essere unica, di potersi riferire solo a se stessa (autoriferimento) per caratterizzarsi.

Tale proprietà viene definita come *perseità* di ogni idea o essenza

Una proprietà che nella tradizione del pensiero filosofico occidentale, proprio a partire da Platone, è stata definita come l'«essere per sé» di ogni idea o universale, nell'ordine logico, ma anche di ogni essenza nell'ordine metafisico[108]. Intuitivamente: l'unico modo che si ha per definire *l'unicità irripetibile, sempre* e *dovunque* o l'universalità dell'idea, p.es., di «rosso» è dire che «il rosso è rosso»: l'autoriferimento è il proprium della formalità immateriale dell' εἶδος platonico.

Quindi l'idea non è mai definibile, perché è quel *primum* autoreferenziale cui ogni discorso ultimamente si riferisce

Si capisce allora perché un'*essenza* in senso platonico o «idea» non è mai definibile, ma è solo ciò cui ogni definizione ultimamente si riferisce, mentre essa può riferirsi solo a se stessa, e quindi, come tale, è *immateriale*, inestesa. In termini moderni: non è un predicato né un simbolo di classe perché nessun elemento o insieme di elementi di un dominio predicativo la può saturare, esaurire. Essa è piuttosto la sorgente dei predicati che ad essa si riferiscono (p.es., «l'acquità» o idea-acqua è ciò cui ultimamente si riferiscono per avere un significato i predicati «essere acqua» o «essere $H_2O$»), ciascuno con un suo dominio, e con le classi relative più o meno coincidenti.

---

108 Proprio per questa caratteristica *perseità* (autoriferimento) tanto dell'idea come dell'essenza, esse vengono spesso identificate nel pensiero occidentale e, innanzitutto, proprio nel pensiero platonico. Spetta ad Aristotele la netta distinzione fra ordine logico e ontologico, quindi fra idee e essenze.

*L'eidos non* è dunque né predicato, né simbolo di classe, ma una *totalitas ante partes* che determina la *totalitas ex partibus* (classe) relativa

Nei termini di Tommaso, un universale è *totalitas ante partes* «una totalità senza parti» ante-predicativa, in quanto distinta dalla *totalitas ex partibus* «totalità fatta di parti» (classi) che essa determina in quanto predicato. La componente intensionale è dunque all'origine di quella estensionale nella logica dei predicati classica. La proprietà di autoriferimento che caratterizza l'idea platonica non è un'autoreferenzialità di tipo predicativo. Anche da questo punto di vista si capisce la profonda verità del secondo teorema di Gödel e la sua unità profonda con le radici stesse, platoniche, del pensiero occidentale (Cfr. sopra § 3.1.3, pp. 193ss.).

L'universale non è l'unione di tutti gli infiniti elementi connotabili mediante un medesimo predicato

P.es., quando si connota un certo ente materiale come «*un* gatto», implicitamente si sta affermando che quella connotazione può essere comune a molti enti materiali ad esso *simili*. Naturalmente, si può cercare di definire «d'esser gatto», mediante riferimento ad altre proprietà comuni a tutti i gatti e solo a loro (p.es., il miagolare) e a proprietà comuni anche ad animali che non sono gatti (p.es., l'essere un felino, un mammifero, etc.). Ciò cui tutte queste connotazioni e definizioni ultimamente si riferiscono è comunque un *unicum*, la «gattità», che come tale non è nessun «gatto», né l'unione di tutti i possibili (infiniti) gatti, materiali esistenti, percepibili con i sensi. Questo *unicum* dell'universale-gatto è qualcosa di intimamente legato:

Universale legato: 1. Ontologicamente all'essenza; 2. Logicamente all'universalità logica

- *Ontologicamente*, ad un essenza specifica, (= sostanza «seconda»), ovvero all'esistenza di una molteplicità, al limite infinita di enti che sono tutti «gatti».
- *Logicamente*, al fatto che «sempre e dovunque», ognuno nella sua lingua, tutti gli uomini denotino come «gatti» l'insieme di questi enti e come «gatto» ciascuno di loro[109].

Oggetto di conoscenza intellettiva e non sensibile

La «gattità», l'autoreferentesi «esser-gatto del gatto», è insomma il nucleo intelligibile, unico–rispetto–ad–altri, *unum versus alia*, dunque «uni–vers–ale», cui ogni connotazione e/o definizione di «gatti» materialmente esistenti come *individui* ultimamente si riferisce e che come tale può essere solo *immateriale* e perciò non oggetto di conoscenza sensibile, ma puramente intellettiva come l'essere parmenideo. Ecco come Platone esemplifica questa sua scoperta nel *Cratilo* (386a):

> Se quindi né per tutti tutte le cose sono allo stesso modo insieme e sempre (esistono cioè delle differenze reali fra le cose, *N.d.R.*), né per ciascuno ogni cosa è in un suo modo particolare (esistono

[109] Non per nulla Wittengstein parlava dell'esistenza di un'unica *grammatica universale*, in sé inesprimibile linguisticamente, cui tutte le grammatiche logiche, esprimibili linguisticamente, dei vari linguaggi si riferiscono per poter giustificare la traducibilità dei linguaggi e l'universalità della loro comprensione.

cioè conoscenze universali comuni a tutti, contro Protagora e i sofisti, *N.d.R.*), è ben chiaro che *le cose hanno in se stesse una loro propria e immutabile essenza, non dipendono da noi,* né da noi sono tratte in su e in giù secondo la nostra immaginazione, *bensì esistono per se stesse,* senz'altro rapporto che con la loro essenza, così come sono per natura.

Dualismo cosmologico e metafisico platonico nasce come in Parmenide dalla confusione fra ordine ontologico e logico, fra *essenza* e *idea*.

Il nucleo del *dualismo metafisico platonico* consiste precisamente in questa scoperta del carattere *immateriale* delle *forme* o *essenze*, o οὐσίαι — *ousìe,* letteralmente: «entità», ma in un senso ben diverso di quello tommasiano che abbiamo incontrato finora — uniche, «universali», implementate in diversi individui *materiali* della stessa specie, essenze conoscibili solo intellettualmente. Consiste in questo, cioè, il nucleo della divisione platonica dell'universo degli esistenti in due mondi: *il mondo «sotto il cielo», degli enti materiali,* molteplici, individuali, mutabili, contingenti, oggetto di conoscenza sensibile, e *il mondo «oltre il cielo»* (*iperuranio*) *degli enti intelligibili*, unici, immateriali, immutabili, necessari, non conoscibili dai sensi. Tali enti esistono indipendentemente, *previamente*, sia dalle loro possibili realizzazioni, implementazioni materiali nei diversi individui di una medesima specie che esistono nel mondo fisico, sia dalla loro possibile conoscenza intellegibile da parte dell'uomo.

Differenze con Aristotele e Tommaso

Naturalmente, laddove si avesse ben presente le distinzioni aristoteliche e tommasiane fra *quidditas* (intellegibile) ed *essenza* (Cfr. § 6.2.1, pp. 416ss.), da una parte, e fra *entità* ed *esistenza* (Cfr. § 6.2.2 pp. 422ss.), dall'altra, la scoperta platonica della *perseità* o *autoriferimento* degli universali intellegibili, del loro essere *per sé,* sarebbe tenuta ben distinta dall'*inseità* delle sostanze e del loro essere *in sé* come *esistenti.* E con ciò sarebbe tenuta ben distinta anche *la necessaria immaterialità degli universali* concettuali, dalla presunta necessità che essi esistano come tali, come altrettante sostanze spirituali, «fuori» della mente, in un mondo immateriale. Ciò che esiste «fuori» della mente è l'*essenza* tutt'altro che immateriale dell'ente fisico, immanente ad esso come sua intrinseca «natura», effetto di un ben preciso concorso causale e insieme principio delle operazioni specifiche, caratteristiche di quella specie di enti[110]. Una «natura» da cui l'universale viene astratto per un atto della mente.

---

[110] P.es., nel caso della natura di una specie animale la cosiddetta «nicchia ecologica», essenziale alla sopravvivenza di una specie o, in fisica atomica e subatomica, nel caso della natura specifica di una data specie di particelle subatomiche, il loro caratteristico «diagramma di Feynman», etc. Ma su questa nozione di «natura» di una determinata specie di enti fisici, viventi e non, come «principio passivo», effetto del concorso causale stabile di molteplici fattori, torneremo nel secondo volume di questo nostro lavoro.

Gli universali in quanto immateriali esistono solo nella mente e non sono le essenze degli enti

Dunque, gli enti logici universali con la loro immaterialità o pura formalità dell'autoriferimento o *perseità* assoluta che li contraddistingue, esistono solo nella mente che li pensa, sono dei *per sé* immanenti alla mente. Essi però hanno un fondamento extramentale, tutt'altro che immateriale (almeno per quanto riguarda gli enti fisici) alla loro universalità[111] nella *perseità* dell'essere dell'essenza o entità degli esistenti, p.es., degli enti naturali che esistono fuori della mente umana, ma in modo tutt'altro che immateriale[112].

Fondamento del realismo in logica e carattere eminentemente individuale degli enti

Ecco come, aristotelicamente, si può essere realisti e non–nominalisti nell'ontologia logica (gli universali logici con la loro immaterialità hanno un fondamento reale extra–mentale), senza essere dualisti platonici in metafisica (gli universali non sono né entità né sostanze immateriali esistenti «fuori» della mente in qualche iperuranio). «Fuori della mente» esistono solo sostanze individuali materiali, corpi, ciascuno con la sua immanente essenza. L'essenza o «natura» delle cose è «dentro» le cose stesse non «fuori» di esse nel mondo delle idee. Se esistono anche sostanze spirituali, esse non saranno «idee», ma «intelligenze», esseri personali anche se non «individui», proprio perché immateriali. Sono questi gli essenziali sviluppi che prima il pensiero aristotelico e poi il pensiero tomista fecero fare al pensiero platonico.

Dimostrazione dell'incompletezza e parzialità delle teorie metafisiche, anche le più alte

D'altra parte, se la metafisica è davvero una scienza dimostrativa e se ogni teoria metafisica specifica in quanto scientifica, è necessariamente incompleta e parziale, non c'è da meravigliarsi dell'esistenza di un reale progresso in essa, quale quello, per limitarci al nostro esempio e senza pretesa di essere esaustivi, che fecero fare alla riflessione platonica il pensiero metafisico aristotelico e quello tommasiano.

Platone ancora in parte schiavo del razionalismo parmenideo

Per concludere questa sommaria esposizione della scoperta fondamentale di Platone, si può dire che — senza nulla togliere alla grandiosità della sua scoperta, senza la quale non sarebbe esistita né la scienza logica, né la scienza metafisica e probabilmente non sarebbe esistita la scienza *tout–court* nell'accezione occidentale del termine — egli è ancora schiavo del

[111] Di per sé un filosofo della natura non può escludere l'esistenza di enti puramente spirituali (angeli, anime immortali, Dio stesso…), anche se questi non sono oggetto della sua indagine metafisica. Evidentemente questi enti avrebbero un'essenza puramente formale o immateriale.

[112] La *perseità* di una sostanza materiale, o corpo, può essere solo relativa. Infatti, per la sua materialità, una sostanza materiale né può autoriferirsi completamente a se stessa e quindi agire completamente per se stessa (ogni movente è mosso a sua volta), né la sua autoidentità è assoluta perché soggetta sempre a divenire (l'autoidentità, l'essere se stesso, di un corpo riguarda la sua componente formale, la sua essenza, ma non le parti materiali di cui è fatto che cambiano continuamente nel tempo). Ma questi approfondimenti, lo ripetiamo, sono tipici dell'aristotelismo, quello tomista in particolare.

razionalismo parmenideo, incapace cioè di distinguere fra ente di natura ed ente di ragione, fra ordine ontologico e ordine logico.

## 5.3.2 Conoscenza come riconoscimento

Dottrina gnoseologica dell'ascesa intellettuale conseguenza di quella metafisica

La dottrina gnoseologica platonica è immediata conseguenza di questa metafisica dualista. Dal punto di vista gnoseologico, si può dire infatti che la filosofia platonica è il tentativo di dare un *fondamento oggettivo*, metafisico, alla teoria della conoscenza del suo maestro Socrate fondata sul *principio maieutico*. Secondo questo principio la conoscenza non è altro che portare alla luce, attraverso la *conoscenza di sé*, un ordine intelligibile di «idee» eterne, *pre–esistenti*, che sono al fondamento tanto della conoscenza nella mente umana, quanto della singola cosa o ente fisico oggetto di esperienza, esistente «fuori» di questa mente.

Universali non possono derivare dalla sensazione (materiale): preesistenza degli universali

- È chiaro infatti che le «idee», se sono immateriali e universali, non possono essere indotte dall'esperienza, materiale e particolare. Se sono conosciute dall'uomo — che, infatti, è capace di conoscenza universale — esse devono già «giacere» nel profondo, nell'inconscio della sua esperienza. L'esperienza non serve a costruirle, astrarle, come sarà per Aristotele, ma semplicemente a portarle a coscienza, a renderle evidenti, a ri-conoscerle negli oggetti d'esperienza.

Confusione nella dottrina delle idee fra *universali* logici ed *essenze* delle cose

- Ma è altrettanto chiaro che queste «idee», per Platone, oltre che immateriali e universali, sono anche le «essenze» le οὐσίαι, le ousie o entità profonde delle cose materiali molteplici, oggetto di esperienza, che sono come copie individuali, parziali, di questi modelli, di questi paradigmi universali, unici, irripetibili.

L'idea, dunque, nell'accezione platonica, risulta tanto a fondamento *del conoscere* come *dell'essere*, nonché della loro *corrispondenza*.

Conoscenza come riconoscimento

La dottrina platonica della conoscenza è esposta in particolare nel famoso dialogo del *Menone* (82b-86c). Com'è possibile — si domanda Platone — che uno schiavo analfabeta, che non ha mai studiato geometria sia reso capace di dimostrare, attraverso un semplice procedimento maieutico, il teorema di Pitagora? Se nessuno glielo ha insegnato vuol dire che inconsciamente già lo possedeva: per conoscerlo quindi doveva semplicemente *ricordarlo* (conoscenza = ἀνάμνησις, *anamnesi, ricordo*. Ogni *conoscere* è così per Platone un *ri*conoscere, è un «trarre da se stesso» una conoscenza universale già da sempre posseduta. L'idea universale non è dunque *astratta* dal singolare come, sarà più tardi per Aristotele, ma semplicemente riconosciuta in occasione di una data esperienza, perché l'idea universale è già da sempre *in sé costituita*. L'universale è dunque una *sostanza* per Platone proprio perché per lui può sussistere da solo, pre-

scindendo dalla mente che lo pensa o dall'ente singolo in cui la particolare forma esiste solo sotto forma di *copia* di *similitudine.*

Oggettività, sostanzialità delle realtà ideali, sebbene invisibili

La giustificazione di questa posizione data da Plàtone è la seguente ed è stata trattata nell'altro dialogo platonico del *Fedone* (73c-ss.). Esiste uno iato fra la conoscenza sensibile (imperfetta) e la nozione intelligibile universale corrispondente (perfetta: p.es., nel mondo sensibile non esistono un quadrato o un cerchio perfetti). L'intelligibile non può dunque derivare dal sensibile, ma deve in qualche modo precederlo. In pratica, Platone ha individuato il problema della giustificazione dell'*inferenza induttiva* che sarà formalizzato da Aristotele nella sua trattazione del *sillogismo induttivo* (*An.Pr.,* II,23), come procedura costitutiva, non dimostrativa, di proposizioni universali, predicative. La soluzione platonica a questo problema essenziale è dunque la seguente: esiste un'*oggettività* delle realtà ideali, malgrado la loro invisibilità (= appartengono all'«Iperuranio», ovvero sono «aldilà» del sensibile), come fondamento sia della *realtà* fisica degli enti che hanno quella forma, sia della *conoscenza* che a questi enti si riferisce.

L'analogia del segmento e il mito della caverna

Al termine del VI Libro della *Repubblica* (509c-ss.) Platone distingue così *quattro gradi* di conoscenza nell'ascesa intellettuale dell'individuo: *immaginazione, credenza, ragionamento, intellezione.* Tali quattro gradi e tale ascesa saranno subito dopo, nel Libro VII della stessa opera illustrati attraverso il celeberrimo *mito della caverna.*

- Conoscenza sensibile o *opinione* (δόξα, *doxa*):
  - Conoscenza delle immagini dei sensi o *immaginazione* (εἰκασία, eikasìa);
  - Conoscenza degli oggetti sensibili o *credenza* (πίστις);
- Conoscenza intelligibile o *scienza* (ἐπιστήμη):
  - Conoscenza degli oggetti matematici o conoscenza discorsiva, *ragionamento* (διάνοια)
  - Conoscenza degli oggetti intelligibili (Idee) fino all'Unità assoluta dell'Idea del Bene o *intellezione* (νόησις).

### 5.3.3 Dottrina della partecipazione

Ascesa logica: dal molteplice all'uno *versus* discesa ontologica dall'uno al molteplice

Da un punto di vista *logico*, questa ascesa è un passaggio a vari livelli dal *molteplice all'unicità* dell'universale (p.es., dalle immagini, all'oggetto; dagli oggetti, all'idea; dalle idee, all'Uno) cui corrisponde, dal punto di vista *ontologico* il passaggio inverso dall'*unico al molteplice* (dall'Uno alle idee,

dall'idea agli oggetti, dall'oggetto alle immagini). Il mondo platonico è dunque concepito come una sorta di *sistema deduttivo*. Come in una sequenza deduttiva la *molteplicità* delle conseguenze *partecipa* della *verità* e dell'*unicità* delle *premesse*, così nel mondo platonico. Per questo è possibile sempre risalirne o discenderne i livelli. Al livello intelligibile le Idee, nella loro gerarchia, partecipano dell'*Uno;* al livello sensibile, la *molteplicità* degli oggetti sensibili (della medesima specie) partecipano dell'*unicità* dell'Idea.

Metafisica platonica: metafisica della partecipazione *formale* dei molti all'uno

Quella platonica è dunque una *partecipazione di tipo puramente formale dei molti all'uno*. Un po' come in geometria, partendo da un unico oggetto *n*–dimensionale (p.es. tridimensionale) si possono costruire diverse proiezioni (*n* – 1)–dimensionali (p.es. due proiezioni bidimensionali). Esse, in questo senso, sono solo delle similitudini, partecipano soltanto della pienezza del modello iniziale. La partecipazione platonica, cioè, non è la *partecipazione dell'essere* tomista che suppone invece che l'entità dell'ente non stia nell'iperuranio, ma nell'intimo della costituzione metafisica di ciascun ente esistente — nella rete delle relazioni causali che fanno esistere quell'ente e lo fanno esistere così, la sua *essenza* cioè —, determinando essa la *modalità* con cui l'ente *esiste*, partecipa, secondo appunto la misura della sua *essenza* o *attualità limitata*, della *pienezza illimitata* dell'*essere come atto*.

## 5.3.4 Antropologia dualista

Dualismo metafisico → dualismo antropologico, perdita unità e individualità dell'uomo

Da questa teoria della conoscenza ne discende immediatamente la *conseguenza antropologica*: la necessità dell'anamnesi implica la *preesistenza* dell'anima rispetto al corpo e dunque la non intrinsecità della sua relazione col corpo. Ovvero, l'anima in senso platonico *non è individuale*: di qui la possibilità di sue successive reincarnazioni in diversi corpi individuali, a seconda del perfezionamento morale raggiunto nella sua precedente incarnazione. L'immortalità e la spiritualità dell'anima platonica sono dunque, ben diverse dalla concezione cristiana dell'immortalità *individuale* che del platonismo non accetta neanche il dualismo e la concezione del corpo come «prigione» dell'anima (*Fedóne*).

Dottrina delle tre anime dell'uomo

Platone poi divide la psiche dell'uomo in tre parti o «anime»: *razionale, irascibile, concupiscibile* (*Rep* , IV, 438d-440a. Nel *Timeo* ad esse si aggiunge una quarta, quella *sessuale*, e la terza viene definita *nutritiva*: 70d-72d), ciascuna localizzata in una parte del corpo (*Ivi*, 69c-77c), e solo all'anima razionale viene attribuita *immortalità* (*Rep.*, X, 611b-612a; *Tim.*, 42a-44a.89d-90d).

Dottrina dell'anima del mondo

Intimamente legata a tale dottrina dell'anima, è poi l'analogia fra «anima del mondo» e «anima razionale» (*Tim.*, 41d.43a.47b-d.90d; *Leg.*, X, 891b-

893d) che fa dell'intero universo una sorta di essere vivente (*panpsichismo*), nonché la definizione dell'anima come «movimento che muove se stesso» e quindi principio di ogni altro movimento, sia nel mondo, sia nel corpo dell'uomo (*Ivi* 894a-898d; Cfr. *Tim.*, testi citati precedentemente).

Definizione dell'anima come «capace di muovere se stessa». Definizione estesa da Aristotele a tutto il vivente, anima e materia

Aristotele, invece, attribuirà questa facoltà di «muovere se stesso» a tutto il vivente (anima + corpo), dove l'anima è causa formale–finale di questo moto, ma non causa movente. Causa movente nell'organismo è solo l'azione di una parte (organica) sull'altra (organica). Ed il corpo animato muove se stesso, proprio perché l'anima in quanto *forma del corpo* da unità a tutto il corpo nei suoi diversi organi, così che l'azione di un organo sull'altro sia *immanente* al corpo stesso. Torneremo nella Parte Quarta su queste nozioni metafisiche della biologia aristotelica. Inoltre, contro il «panpsichismo» o il «vitalismo» (= tutto è animato o vivente), inerente alla dottrina platonica dell'anima del mondo presentata nel *Timeo*, Aristotele attribuirà alle «intelligenze separate» la funzione di semplici cause finali del moto perfettamente simmetrico, senza inizio né fine, delle «sfere celesti» che compongono il suo universo. Sono queste sfere, dunque, a motivo della naturale perpetuità dei loro moti, le cause moventi ultime di tutti i moti degli altri corpi che compongono l'ordine fisico.

Per Aristotele causalità movente esclusiva degli enti materiali: l'anima non «sposta» e non può spostare particelle

In questo modo, con Aristotele, il *moto locale* e la *causalità movente* diventano proprietà *specifiche* dell'universo fisico o materiale: ciò che lo distingue da quello spirituale. Grazie a questa distinzione solo con Aristotele diviene chiaro che la causalità esercitata dalle forme o dalle sostanze spirituali sulla materia non può essere mai una causalità di tipo *efficiente* (*movente*), capace cioè di indurre moto locale nei corpi fisici.

Le forme, insomma, siano esse «materiali» (= forme di enti fisici) o «spirituali» (= anime razionali) *non agiscono mai*, non esercitano mai azione *iniziale*, movente sui corpi materiali. Torneremo fra poco su questo principio essenziale per capire il *proprium* dell'ilemorfismo aristotelico rispetto ai dualismi antichi e moderni.

### 5.3.5 Seconda risposta a Parmenide

Diversità qualitativa non implica il non essere assoluto di un ente (= il nulla), ma solo di una sua parte, in questo caso la forma e non la materia, come nel caso delle quantità. Resta problema del divenire

Come Platone stesso spiega nel dialogo *Parmenide*, la definizione della *diversità* attraverso la dottrina delle Idee, della qualità irriducibile alla quantità, implica il superamento della presunta contraddittorietà di questa nozione affermata da Parmenide. (Cfr. § 5.1.4, pp. 310ss.). Infatti, p.es., la «diversità» fra *A* e *B* sebbene implichi che *A* significhi *non-B* e che *B* significhi *non-A*, non implica la nozione di non-essere *assoluto*. Ciò che si nega è qualcosa di determinato di *A* o di *B*, non «tutto *A*» o «tutto *B*», ma solo la forma «a» di *A* e la forma «b» di *B*. «Diversità» dunque implica il *non-essere relativo*, non quello assoluto. I «diversi» non si oppongono per opposizione di *contraddizione* (*A* / *non-A*), ma per opposizione di *contrarietà* (*A* / non-«a»).

Si tratta di un'*opposizione secondo la forma*, non di un'opposizione secondo l'*essere*. Affermando *B* non si nega «tutto» *A*, ma solo la sua forma. Evidentemente, allora, l'ente *A* o l'ente *B* non è composto solo dalla «forma», ma anche da una «materia», fisica o intelligibile, a seconda che si tratti di un ente fisico o di un ente logico. Lo sviluppo di questa pregevolissima intuizione platonica, spetterà ad Aristotele con la sua dottrina dell'*atto* e della *potenza*, mediante cui si troverà la risposta anche alla terza parte del «problema di Parmenide»: il problema della giustificazione del divenire.

## 5.4 L'attualismo di Aristotele

### 5.4.1 Essenze e universali logici

Critica alla partecipazione formale: dall'Uno della forma non può derivare la molteplicità diversificata degli enti materiali

Come abbiamo visto, la distinzione forma-materia si deve a Platone ed è alla radice della soluzione del problema parmenideo della giustificazione metafisica della *diversità*. Il problema è che Platone ha fornito con la sua metafisica una giustificazione insufficiente a queste due nozioni di «forma» e di «materia», pretendendo di derivare tanto la coppia «identità-diversità», quanto quella «forma-materia» (rispettivamente l'«uno» e il «due» di Pitagora), dall'Uno ideale, fondamento di tutte le forme e di tutti gli enti.

Insufficienza della partecipazione formale

La critica essenziale di Aristotele a Platone consiste nell'insufficienza della nozione platonica di *partecipazione formale* uno-molti per giustificare il passaggio:

- Dall'identità alla diversità
- Dal discreto dell'unità (forma) al continuo spaziale (materia).

*Insufficienza della partecipazione formale platonica per fondare il passaggio dall'identità alla diversità*

Insufficienza della partecipazione a fondare diversità dall'identità

Come sappiamo, per Platone tutta la *diversità* delle forme deriva per partecipazione dall'identità assoluta *in sé* e *per sé* dell'Uno. Così, nelle cosiddette «dottrine non scritte» (= l'insegnamento puramente orale, non consegnato ai suoi *Dialoghi*) dell'ultimo Platone e di cui Aristotele è uno dei principali testimoni e fonti, Platone cercò di «spiegare» la partecipazione formale in un senso neo-pitagorico, attraverso la teoria dell'Unità e della Duità ideali, dell'*Uno* e della *Diade*.

In tal senso, anche nei dialoghi, p.es. nel *Filebo* (25a-26b), Platone parla dell'*Uno* come dell'*Identico* e della *Diade* come del *Diverso*. Ed ancora nel *Filebo* (56d-57a) distingue due aritmetiche:

- l'*aritmetica materiale* (= l'aritmetica applicata) fatta di numeri definiti su diverse «unità» metriche, in base all'unità in sé dei diversi oggetti materiali da misurare/contare (p.es., l'unità con cui contare cavalli, è diversa dall'unità con cui contare formiche);
- l'*aritmetica formale* (= l'aritmetica dei filosofi o matematici puri) fatta di *numeri ideali*, probabilmente la *decade* pitagorica, intesa qui secondo la dottrina delle Idee, come *paradigma, modello* immateriale ai numeri materiali dell'aritmetica applicata.

La critica d'inconsistenza di Aristotele a Platone alla base della sua metafisica

Di qui l'idea, testimoniata da Aristotele, del Platone non scritto di concepire l'*Uno* e la *Diade* ideali come due principi, il primo formale (= principio di determinazione) l'altro materiale, una sorta di «materia intelligibile» (= principio di indeterminazione e molteplicità: relazione generica di «grande/piccolo»), da cui tutte le idee sono costituite proprio come in aritmetica, tutti i numeri derivano dall'1 e dal 2 (Cfr. anche, nei dialoghi, *Teet.* 191c; *Tim.* 50c). «Le forme sono come numeri» *formae sunt sicut numeri,* affermeranno, sviluppando quest'eredità platonica, i medievali e Tommaso stesso, seguendo in questo Aristotele. Ecco il passo di Aristotele, dove si parla di questa essenziale evoluzione del pensiero platonico.

> Essendo (...) le Forme o Idee cause delle altre cose, Platone ritenne che gli elementi costitutivi delle Forme o Idee fossero gli elementi di tutte le cose. E come elemento materiale delle Forme o Idee egli poneva il *grande* e il *piccolo* e come causa formale l'Uno: infatti riteneva che le Forme e i Numeri derivassero *per partecipazione* (κατὰ μεθέξιν) del grande e del piccolo all'Uno. (...)
>
> Da quanto detto, appare che Platone ha fatto uso di due sole cause: la *formale* e la *materiale*. Infatti le Idee sono le cause formali delle altre cose e l'Uno è la causa formale delle Idee. E alla domanda quale sia la materia che abbia funzione di sostrato, di cui si predi-

> cano le Idee — nell'ambito dei sensibili — e di cui si predica l'Uno — nell'ambito delle Idee[113] — egli risponde che è la *Diade*, cioè il grande e il piccolo ed ha attribuito, inoltre, separatamente a ciascuno di quei due principi la causa del bene e del male, proprio come a parer nostro, avevano tentato di sostenere alcuni tra i filosofi precedenti, quali ad esempio Empedocle e Anassagora (Aristotele, *Metaph.* I,6,987b,18-22; 988a,7-17).

Punto di crisi individuato da Aristotele: la Diade non può derivare dall'Uno

Il genio di Aristotele consiste dunque nell'aver individuato il punto essenziale di *crisi* di tutto il sistema platonico, come di qualsiasi sistema formalistico in metafisica ed in metalogica che pretenda di essere *autoconsistente*, ovvero di fondare se stesso. È vero. Se ho l'1 e il 2, il principio di unità formale e il principio di molteplicità materiale dell'unica forma – cioè, se ho il *limite* e l'*illimitato*, per dire la stessa cosa in termini pitagorici – posso fondare qualsiasi *diversità*. Ma come distinguere l'1 dal 2? Il 2 come tale non può essere derivato formalmente «dedotto» dall'1. Infatti, se l'uno è fatto di una sola unità quantitativa: «|», il due è fatto di una duplicità di unità quantitative: «||», ma anche e inscindibilmente dell'*unità formale* «()» di queste unità quantitative, «dell'*esser-due* delle molteplici unità»: «( || )». Dunque se *già* non si possiede la «forma-del-due», ovvero il principio di diversità fra «*la* unità dell'1» e «*le* unità del 2» non si potrà mai distinguere l'1 dal 2. Senza la forma del «due», le unità che lo compongono non saranno mai «*un* 2», ma semplice molteplicità di unità, saranno semplicemente «d'uno-uno», «1-1». Stesso discorso si può, ovviamente, fare per qualsiasi altro numero intero.

Così sintetizza Aristotele la sua critica:

> Le unità che costituiscono la diade dovranno supporre ciascuna una diade anteriore, ma ciò è assurdo. In altri termini, in virtù di che cosa il numero, essendo composto, è qualcosa di unitario? (Aristotele, *Metaph.*, I,9,991b31-992a,1).
>
> (…) La stessa Diade deriverà dalla somma di un altro uno all'Uno in sé. Ma, se è così, non è possibile che uno dei due principi da

[113]Nell'ambito degli enti fisici, la materia in pratica definisce un genere, di cui la forma o idea platonica definisce la differenza specifica. Così per esempio della materia organica che definisce il genere degli «animali» si può predicare «l'esser-gatto» o l'«esser–cane». In questo senso Aristotele dice che della materia, nell'ambito degli enti fisici (sensibili) si predica l'idea. Di un'idea, invece, si predica l'«esser-uno». P.es., parlare in senso platonico dell'«idea–di–gatto» significa parlare dell'«unico–modello–gatto» di cui tutti i gatti «materialmente esistenti» sono «copia» o «partecipazione» È come se affermassi l'unità (formale) ultima della molteplicità (materiale) dei gatti. Ugualmente, in aritmetica, il «cinque ideale», costituisce il paradigma o modello ideale, di tutti i molteplici «cinque» che posso definire su diverse scale numeriche, rispetto cioè a diverse unità di scala. L'unità di scala mediante cui conto «cinque» formiche è diversa dall'unità di scala con cui conto «cinque» elefanti. Ma questi differenti tipi di «cinque», sono sempre rappresentazioni, partecipazioni, dell'unica forma-paradigma del «cinque» ideale.

cui si genera il numero sia la Diade *indefinita*: l'unità singola (μόνας) genera un'unità numerica (μίαν), ma così non verrà mai prodotta la diade (*Ivi*, XIII,7,1081b,24. Cfr. anche: XIV, 1090b,22).

Le aporie della partecipazione formale platonica

In altre parole, Platone con la sua dottrina delle forme ideali e/o dei numeri ideali, cerca di spiegare quegli *universali* presenti nella mente dell'uomo che riducono *ad unum* una molteplicità di oggetti (naturali o matematici) della medesima specie (p.es., l'idea di «gatto», riduce *ad unum* l'insieme di tutti i possibili gatti, l'idea di «cinque», riduce *ad unum* l'insieme di tutte le possibili collezioni di cinque oggetti, etc.). Non si è accorto però Platone che, affermando che queste «forme universali» non sono soltanto nella mente dell'uomo, ma sono anche il fondamento oggettivo, *esistente in sé*, di tutte le realtà molteplici della medesima specie, del medesimo tipo, esistenti al mondo, dava sempre per risolto un *problema ben più fondamentale*. L'idea-paradigma platonica esprime l'unità-forma di una specie (p.es., di gatti o di numeri «cinque» definiti su diverse unità di scala...): ma cos'è che fonda *l'unità-forma* della specie o «idea»? Questo problema può essere visto da due prospettive complementari:

- Sia in quanto ogni «idea» è a sua volta è *composta di parti comuni* a tutta la specie (p.es., una testa, un corpo, quattro zampe ed un paio di baffi per l'«idea-gatto»; una molteplicità di unità quantitative per l'«idea-cinque»);

- Sia, soprattutto, in quanto questa unità *specifica* e quindi *relativa* è *diversa* dall'unità *assoluta* dell'Uno di cui partecipa. L'unità formale che mette insieme le parti del «cane», non è quella che mette insieme le parti del «gatto», e nessuna delle due è quella dell'unità assoluta dell'Uno. Come queste diversità possono derivare tutte per partecipazione dall'unità dell'Uno che dice solo assoluta auto–identità?

E, ugualmente, nel passaggio dall'*unità specifica* di una data specie di oggetti (p.es., la specie dei gatti), garantita dalla forma-paradigma o *forma specifica*, all'*unità sostanziale* del singolo individuo (la *forma sostanziale* del singolo gatto che partecipa dell'unità della specie-idea *comune* a tutti i gatti, ma è distinta da essa): cos'è che fonda l'unità-forma sostanziale del singolo ente fisico esistente (p.es. di un gatto)? Infatti, a sua volta:

- Siffatta unità sostanziale è composta di parti individuali (p.es., quella tale testa, quel tale corpo, quelle tali quattro zampe e quel tale paio di baffi per ciascun singolo gatto individuo);

- Quest'unità sostanziale necessita di un'unità–forma diversa dall'unità-forma della specie. (p.es. la forma sostanziale di quel gatto dalla specie-idea «gatto») di cui partecipa.

La partecipazione formale platonica non può dare una risposta consistente a nessuna di queste due serie di questioni sollevate da Aristotele.

La diversità non può derivare dalla materia

In sintesi la «diversità» non può fondarsi su una partecipazione formale che si limiti a moltiplicare la forma «identica» in una materia, ma la diversità può solo fondarsi su un'ulteriore *forma* distinta da quella di partenza.

Antinomia dell'Identico e del Diverso

Si può dire allora che tutto il pensiero epistemologico occidentale (metafisico e scientifico) da Platone ai giorni nostri è bloccato su questa antinomia dell'Identico e del Diverso che costituisce la sua *contraddizione originaria*. Per fondare la «diversità», l'identità (Uno) partecipata all'indeterminazione (Diade) non basta. E per questo è impossibile, all'inverso, ridurre tutta la diversità degli enti ad una sola identità originaria, come qualsiasi razionalismo formalista in metafisica, da Platone, ad Hegel, ad Hilbert vorrebbe.

L'Uno dell'Identità Assoluta platonica non è l'Uno adatto per fondare diversità specifica e singolarità individuale lo è invece l'Atto Puro di Tommaso

L'Uno di Platone, l'Identità assoluta, non è l'Uno «giusto», evidentemente, per costituire l'ἀρχή originario. Quell'ἀρχή di cui tutti gli enti partecipano, in quanto sono esistenti, ma ne partecipano come costituiti nella loro irriducibile *diversità specifica* e *singolarità individuale*. L'Uno di cui partecipare non è la Forma Assoluta platonica, che può solo partecipare la sua astratta identità con se stessa, bensì questo Uno può consistere solo in un Essere Assoluto che contenga tutte le differenze, tutte le forme contenute come nel loro *principio causale* unico. Di una causalità, ovviamente, che non ha nulla a che fare con quella dello schema humiano-kantiano moderno, ma è basata sulla relazione atto–potenza. Così l'Uno inteso come Atto Puro è fondamento della diversità specifica e della singolarità individuale mediante una *doppia relazione causale atto–potenza*. È causa delle varie specie di enti mediante la relazione con la potenzialità dell'essenza specifica e, entro questa, dell'individualità degli enti mediante la relazione della forma con la potenzialità della materia.

È qui il nucleo dell'idea tommasiana dell'essere come atto (atto di tutte le forme) e dell'Essere Sussistente come l'Unico che contiene in sé tutta la pienezza dell'essere come Atto Puro, come Principio Attivo, Causa Prima di ogni ente nell'assoluta diversità e individualità che lo contraddistingue.

> *In conclusione, la partecipazione formale di Platone è insufficiente a fondare la diversità dall'identità. La diversità originaria o «duità» non può derivare dall'identità originaria o «unità assoluta», né la diversità, in tutte le sue forme, può essere ridotta ad una sola identità originaria.*

Vediamo così l'altro punto della critica di Aristotele alla partecipazione formale di Platone. Vediamo cioè se tale teoria può almeno giustificare,

mediante il passaggio dall'Uno alla Diade, se non la derivazione della diversità dall'identità, almeno la derivazione della materia dalla forma.

*Insufficienza della partecipazione formale platonica per derivare la «materia» dalla «forma» pura dell'Uno*

Insufficienza della partecipazione formale per derivare la materia dalla forma

Abbiamo visto come Platone identificava la diade con il *principio materiale*. Ciò dipendeva di nuovo dall'influenza delle dottrine pitagoriche per cui la diade si identificava col *segmento originario*. Se dunque la diade (= segmento) poteva essere derivata dall'unità (= punto), ciò avrebbe significato non solo derivare la diversità dall'identità, ma anche il *continuo spaziale* (= materia) dall'*unità discreta* (= forma). Ma, come la diversità è inderivabile dalla sola identità, così il continuo spaziale non può derivare dal discreto. Infatti, la diade può essere identificata al segmento originario se e solo se non è costituita dalla sola coppia di punti, ma dalla *lunghezza indeterminata* che la coppia di punti della diade delimita «taglia». È evidente, allora, che non la diade di punti costituisce la materia, ma la lunghezza indeterminata. La diade, viceversa, appare qui come *forma*, come «atto» nella sua funzione fondamentale di «tagliare», «delimitare», «determinare» *l'ininterrotto, l'illimitato, l'indeterminato*, in una parola la *materia*.

Il continuo non può derivare dal discreto, ma semmai il contrario

Così se la materia è la «lunghezza indeterminata» e non la diade, allora è ovvio che la materia non potrà mai essere derivata dall'unità, visto che nessun insieme per quanto «denso» di punti a–dimensionali potrà mai portare al continuo dimensionale. Non si passa mai dal *discreto al continuo*, ma solo dal *continuo al discreto* «tagliandolo» in un punto («la forma in quanto atto, *separa*» diceva Aristotele).

Materia e forma sono due principi primi irriducibili di cui ogni ente fisico è composto

Dunque, la materia (continuo) è non deducibile dalla forma (= limite, principio di discretizzazione): ciò significa che *materia e forma* sono due cause o «principi» *primordiali* e *reciprocamente irriducibili*. L'essenza degli enti fisici e degli stessi enti matematici non può dunque essere costituita dalla sola forma, ma *dalla forma e dalla materia* (Aristotele, *Metaph.*, VIII,3,1043a,33ss.). L'essenza di ogni ente fisico e/o matematico è dunque per Aristotele *sinolo* (σύνολον, «totalità composta») di materia e di forma (Cfr. Figura 5-1).

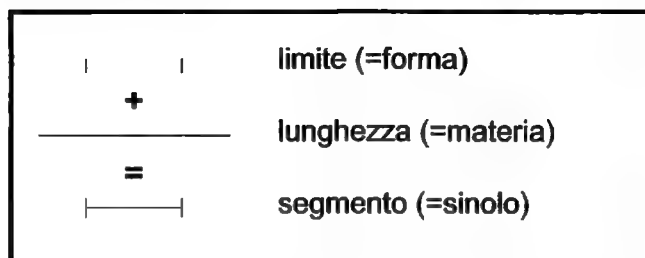



Figura 5-1. Schema della costituzione ilemorfica (materia + forma) di un ente matematico (e/o fisico) secondo Aristotele.

Materia e forma sono due principi (*id quo*) mediante cui un ente (*id quod*) esiste, insieme costituioscono l'essenza, sostanza secondo dell'ente fisico e/o matematico

*La materia non può dunque derivare dalla forma.* Ciò significa che «materia» e «forma» sono i due principi «primi», irriducibili, (= «cause» nel senso della causa materiale e della causa formale che spiegheremo in § 6.3.2.1, pp.431ss.) costitutivi l'essenza di ogni ente fisico e/o matematico. Ciascuna delle due è un principio «mediante cui» (*id quo*) un «determinato ente» (*id quod*), sia esso sostanza o accidente, *esiste in atto.* La natura o essenza di ogni ente fisico, ovvero ogni corpo o «sostanza materiale», è per Aristotele «sinolo» di materia (*prima*) e di forma (*sostanziale*), proprio come la natura o essenza di ogni ente matematico è «sinolo» di materia (intelligibile: la quantità estesa per gli enti geometrici, la quantità discreta per i numeri) e forma (intelligibile). Per questo la filosofia della natura aristotelica è definita un *ilemorfismo,* da ὕλη (*yle,* materia) e μορφή (*morphé,* forma).

Le essenze degli enti fisici e matematici, composte di materia e forma, distinte dai rispettivi universali immateriali

Poiché l'essenza ultima di ogni ente fisico o matematico non può essere pura forma immateriale, un puro intellegibile, Aristotele introduce con ciò una fondamentale distinzione fra gli universali logici *immateriali* o forme puramente intellegibili, immanenti alla mente e le *essenze* degli enti fisici e matematici immanenti agli enti medesimi, ambedue costituiti di due principi ontologici irriducibili l'uno all'altro: la *materia* e la *forma.* In ogni caso, le essenze delle cose *non sono* gli universali intellegibili (distinzione fra *ente naturale* o ente fisico e *ente di ragione* o ente logico) e, soprattutto, né le une né gli altri esistono separatamente dalle sostanze individuali materiali (= corpi) del mondo fisico al modo delle sostanze spirituali di un mondo ideale come le essenze/universali/intellegibili di Platone[114].

---

[114] Ecco un testo di Tommaso in cui questa dottrina aristotelica è magistralmente spiegata: « *L'universale non esiste prescindendo dai singolari* (*universale non est aliquid praeter singularia*), come viene provato nel VII Libro della *Metafisica* (...). Quindi se l'universale viene predicato dei molti secondo un'unica definizione (*unam rationem*) e non equivocamente, l'universale per ciò che riguarda la ragione — e cioè rispetto alla scienza e alla dimostrazione — non è meno ente del particolare, ma più ente: poiché ciò che è incorruttibile è più ente del corruttibile. La definizione universale è infatti incorruttibile; i particolari invece sono corruttibili, poiché ad essi accade di corrompersi secondo i principi individuali,

*In conclusione, la partecipazione formale è insufficiente non solo a fondare la derivazione dalla diversità dall'identità, ma anche a fondare la derivazione della materia dalla forma. Divenendo così forma e materia — e non la forma soltanto — costitutivi ultimi e irriducibili di ogni ente fisico, le loro essenze, in quanto «sinoli» (composti) di materia e forma, vengono per ciò stesso distinte dagli universali logici immateriali, essendo le prime immanenti agli enti stessi, i secondi alla mente che li pensa.*

## 5.4.2 Nozione di sostanza e categorie

La distinzione fra essenza e sostanza

Implicita alla distinzione fra enti intellegibili ed enti naturali, è la scoperta fondamentale della metafisica aristotelica: la nozione di *sostanza* in quanto distinta da quella di *essenza*. Con questa scoperta, Aristotele fa fare al pensiero metafisico occidentale un ulteriore passo in avanti, dopo quelli che gli avevano fatto fare Parmenide, Democrito e Platone. Il testo principe di questa distinzione si trova nel cap. 5 del *Libro delle Categorie* (5, 3b, 10-25), il libro che introduce l'*Organon* aristotelico, il primo testo di logica mai scritto nella storia del pensiero.

Ogni universale si predica sempre di un soggetto

Abbiamo visto che la scoperta principale di Platone riguardo ai predecessori è stata la scoperta del carattere di *autoriferimento* riflessivo (autoidentità) di una qualità in quanto tale che la rende *irriducibile* ad un qualcosa di diverso da sé. Ultimamente una qualità si riferisce solo a se stessa

---

ma non secondo la definizione di specie che è comune a tutti e che viene conservata attraverso la generazione. Così pertanto quanto a ciò che è proprio della ragione gli universali sono maggiormente enti degli individui. Ma quanto alla sussistenza naturale gli individui sono maggiormente enti, così che vengono definiti le prime e principali sostanze. (…) E perciò (Aristotele) aggiunge che sebbene nelle proposizioni e nelle dimostrazioni universali viene significato qualcosa che è *uno secondo se stesso* (cioè la qualità, p.es., l'universale della «triangolarità», *N.d.R.*), p.es., l'esser-triangolo, *non vi è alcuna necessità di credere per questo che il triangolo sia una qualche unità esistente prescindendo dai molti.* Come pure in quelle cose che non significano una sostanza ma un qualche genere di accidente quando le significhiamo assolutamente, p.es., dicendo la *bianchezza* o la *paternità*, non per questo qualcuno può credere che esse esistano separatamente da una qualche sostanza individuale esistente. L'intelletto può infatti comprendere qualcosa di quelle cose che sono in realtà congiunte senza in atto comprendere l'altro (cui è congiunto), senza per questo che tale concetto sia falso. Come se un bianco fosse anche musico, posso comprendere il bianco ed attribuirgli qualcosa e dimostrare qualcosa circa di esso, p.es., che rovina la vista, senza tenere in considerazione il fatto che sia musico. Se tuttavia qualcuno da questo inferisse che il bianco non è musico, ciò sarebbe falso. Così pertanto quando diciamo che *la bianchezza è un colore* (= definizione della qualità, come fosse un ente separato, ovvero definiamo la qualità astratta come universale «uno-di-uno», *N.d.R.*) senza menzionare il soggetto sussistente (p.es., un uomo bianco, un lenzuolo bianco, etc.) diciamo il vero. Sarebbe invece falso se dicessimo che *la bianchezza, che è un colore, non esiste in un soggetto.* E similmente quando diciamo che *l'uomo è un animale*, diciamo il vero, anche non menzionando nessun particolare uomo. Ma ciò sarebbe falso se dicessimo che *l'uomo è un animale che esiste separatamente dagli uomini particolari*» (Tommaso d'Aq., *In Post. An.*, I,xxxvii, 328.330-331).

per compiere la sua funzione, quella di distinguere: in ciò consiste la *perseità* di ogni essenza, di ogni οὐσία, di ogni entità. Ora, nota Aristotele, come nel linguaggio, logicamente, la qualità intellegibile, l'universale logico, si predica sempre di un soggetto (p.es., l'«esser rosso» del «sangue»), così nella realtà, ontologicamente, l'essenza è sempre di un «qualcosa che esiste *in sé*» (τόδε τι, *hoc aliquid*)[115], di un *sostrato individuale* (= ὑποκείμενον), o «soggetto» in senso onotologico, a sua volta *irriducibile*, definito da Aristotele *sostanza prima*.

Inseità del soggetto è irriducibile

Anche l'*inseità* della sostanza prima è relativa ad una sorta di *autoriferimento* (*reditio ad semetipsum*, ritorno su se stesso, lo definirà Tommaso), distinto e complementare all'autoriferimento della *perseità* della qualità, propria di ogni essenza.

Logicamente parlando, il termine che denota una qualità (grammaticalmente un aggettivo e/o un verbo) non può essere mai grammaticalmente soggetto, ma sempre predicato di enunciati dichiarativi. «Uomo» nel senso di «umano» è sempre l'«esser uomo» di un soggetto individuo, «Platone», «Socrate», «Gianni», etc.. Solo considerandola in astratto, come un'idea intellegibile («l'uomo», predicato sostantivato mediante l'articolo, nel senso di «umanità»), l'essenza può esser posta come soggetto di enunciati dichiarativi e/o definitori (come quando si dice «l'uomo è un vivente» o «l'uomo è un animale razionale»).

Come non si può andare all'infinito nel definire una qualità, così non si può andare all'infinito nell'attribuire qualità. L'individuo è irriducibile

Qualcosa di simile avviene, all'inverso, per il sostrato individuale. «Sostrato» indica ciò che non può mai essere attribuito come qualità a qualcos'altro, essendo ciò a cui, ultimamente, tutte le qualità si attribuiscono come sue «proprietà». Quindi, come non si può regredire all'infinito nel tentativo di *definire* una qualità perché, ultimamente, essa si riferisce solo a se stessa («il rosso è rosso»), così non si può andare all'infinito nell'*attribuire* una qualità (p.es., l'attribuire «esser uomo» a gruppi umani sempre più piccoli e specifici: «europei», «italiani», «romani», etc.) perché, ultimamente, è solo e sempre un *individuo sussistente*, «esistente *in sé*», a possedere quella qualità come suo attributo[116]. Logicamente dunque, il sostrato individuale, il τόδε τι, è ciò che il soggetto di una proposizione

---

[115] La traduzione del τόδε τι aristotelico è una vera e propria *crux* dei traduttori. Etimologicamente, dal greco, significa «questo che cosa», ovvero indica il referente ostensivamente indicato di una definizione. Come quando, dopo aver definito un qualche oggetto, un nostro interlocutore ci domandasse: «di cosa stai parlando?» e noi, indicando l'oggetto cui ci stavamo riferendo, rispondessimo: «di questa cosa qui». «Questa cosa qui» è dunque il soggetto ontologico della nostra definizione, il «portatore», «l'implementazione» concreta di una certa essenza.

[116] Come abbiamo visto (Cfr. 1.5.2.1, pp.79ss.), anche la moderna teoria degli insiemi diventa antinomica se non si ammettono come elementi primitivi (*Ur-Element*, li definisce Ernst Zermelo) individui che non sono a loro volta insiemi.

categorica, dichiarativa e/o definitoria, denota e che, in quanto tale, non può essere mai denotato da un termine con funzione di predicato.

Nella filosofia sia antica che moderna, spesso i due generi di autoriferimento, della *perseità* delle qualità e dell'*inseità* degli individui, vengono confusi

L'errore di Platone (ma anche di molti logici moderni a cominciare da Frege) è dunque quello di aver confuso i due generi di irriducibilità o di ultimo autoriferimento, rispettivamente di soggetti e predicati: l'autoriferimento dei sostrati individuali (l'autoriferimento dell'*inseità*) — che nella metalogica e nella metafisica scolastica si indicherà col termine di *reditio completa ad semetipsum* (= ritorno completo su se stesso) di ogni sostanza[117] — e l'autoriferimento delle qualità (l'autoriferimento della *perseità*) — che nella metalogica e nella metafisica scolastica si indicherà col termine di *esse secundum se* (= essere secondo se stesso) di ogni qualità. Nei termini divenuti poi classici nella storia della filosofia, l'errore di Platone, per Aristotele, è quello di aver confuso «sostanze» ed «essenze», o nei termini usati da Aristotele nel libro delle *Categorie* al cap.5, fra sostanze «prime» e «seconde». Ecco quindi come Aristotele spiega la sua scoperta della differenza fra ipostasi o sostrato (sostanza «prima») ed essenza (sostanza «seconda»).

Sostanza prima è il soggetto individuale esistente in sé

- *Sostanza prima* o *sostanza individuale* è il senso principale, «primo» in cui intendiamo il termine «sostanza», denotante un ente capace di *sussistere,* capace cioè di esistere *in se stesso* (in quanto individuo) *e per se stesso* (in quanto dotato di un'essenza individuale). Ogni sostanza «prima» è dunque un sostrato (soggetto) ontologico individuale (τόδε τι, *hoc aliquid,* «un "questo" qualcosa»: definizione ostensiva) di proprietà. Sono sostanze «prime», per esempio, tutti i corpi fisici individuali, i composti materiali dotati di stabilità dinamica nel tempo: un singolo cane, un singolo gatto, un singolo uomo. Ma lo sono anche, nel regno microscopico, le singole particelle o «elementi» a ciascun livello di organizzazione della materia (oggi diremmo: una singola molecola, un singolo atomo, un singolo protone...), *presi a sé stanti,* come individui sussistenti, (oggi diremmo: come particelle «libere») *non come componenti* (elementi) di una sostanza fisica più complessa (rispettivamente, per esempio: la molecola di una cellula, l'atomo una molecola, il protone di un atomo...).

  Oltre il mondo fisico, sono sostanze prime, per Aristotele e la scolastica, anche le «intelligenze separate», ovvero le sostanze immateriali come le anime, gli angeli o Dio stesso. Tali soggetti metafisici, non essendo fatti di materia, propriamente, non si possono definire

[117] Cfr., p.es., Tommaso Aq., *In de Causis,* XV, xv ; o *S. Th.,* I,14,2. Per una discussione sulla questione della *reditio completa* come proprietà di auto–riferimento a se stessa tipica dell'*inseità* di ogni sostanza, mi permetto di rimandare al mio (Basti 1991, 144-150).

sostanze individuali, ma piuttosto «singolari». Ciò però non interessa al filosofo della natura.

Sostanza seconda è l'essenza comune a più individui, esistente non in sé, ma negli individui

♦ *Sostanze seconde* o *essenze specifiche*, essenze comuni a più individui, come la natura o essenza di «cane» comune a tutti i singoli cani, la natura di «uomo», comune a tutti gli uomini, la natura di «ferro» comune a tutti gli atomi e molecole di ferro, etc. Siffatte essenze specifiche sono sostanze «seconde» o in «senso secondario», perché pur esistendo *per se stesse*, pur tuttavia non *sussistono*, non esistono *in sé*, ma *nei molteplici individui* di cui sono essenze. La sostanza «prima» (p.es., Gianni) è il sostrato di cui la sostanza «seconda» (p.es., essere uomo) è essenza. Le sostanze «seconde», dunque, non esistono in sé, ma «nei molti» di cui sono l'essenza specifica, «molti» che, da un altro punto di vista più strettamente logico, dice Aristotele, sono «immanenti» alla sostanza «seconda» stessa.
È chiaro dunque che con «sostanza seconda», dal punto di vista logico, Aristotele denoti, non solo, *intensivamente*, una qualità o proprietà (= *totalitats ante partes*, «totalità senza parti» o principio che costituisce una totalità), ma anche, *estensivamente* (= *totalitas ex partibus*, «totalità fatta di parti», collezione), ciò che noi oggi in logica denotiamo con la nozione di «classe», determinata da una certa qualità che tutti gli elementi che «appartengono» alla classe posseggono come «proprietà» comune. In altri termini la «sostanza seconda» è una nozione sia di logica intensionale che estensionale in Aristotele che, evidentemente, non è capace di distinguere fra questi due sensi, come la logica contemporanea.

Se si attribuisce inseità alle essenze come Platone si cade in antinomia

Senza questa distinzione, nota Aristotele, se si fa di una sostanza seconda o essenza una sostanza prima come fece Platone, si cade nella famosa assurdità dell'argomento del «terzo uomo». Ecco come Tommaso sintetizza questa fondamentale scoperta di Aristotele:

> Aristotele dice che se gli universali fossero delle sostanze (prime *N.d.R.*), ne deriverebbe che in Socrate vi sarebbe una sostanza (prima *N.d.R.*) nella sostanza (prima *N.d.R.*). Se infatti tutti gli universali fossero delle sostanze, come l'esser-uomo è la sostanza di Socrate, così l'esser-animale sarebbe la sostanza dell'uomo. E così in Socrate vi sarebbero due sostanze. (...) È pertanto evidente che nessun universale è una sostanza e che nessuna di quelle cose che si predicano in comune di più enti significa un qualche cosa in sé esistente come sostanza (*hoc aliquid*), *ma solo una qualche qualità* (*quale*)» (Tommaso d'Aq., *In Met.*, VII,xiii,1584s.).

Corrispettivo nel linguaggio comune della distinzione aristotelica fra sostanze «prime» e «seconde»

Per comprendere l'attualità, anche per il nostro linguaggio comune, della definizione aristotelica della nozione di «sostanza», tutt'ora oggi quando, p.es., ci interessiamo della natura di un certo composto chimico contenuto in provetta, domandiamo: «di quale *sostanza* si tratta?» È chiaro che con «sostanza» ci stiamo riferendo al senso «secondo» di sostanza, ovvero stiamo interrogandoci sulla «natura» o «essenza» (per la distinzione fra questi due sensi del termine «essenza», cfr. § 6.2.1, pp. 416ss.) di quell'oggetto, di quel composto chimico (p.es., acido solforico). Viceversa, se domandassimo «che cos'è quella *sostanza* contenuta nella tua provetta?», è chiaro che con «sostanza» ci stiamo riferendo al senso «primo» di sostanza. Con il termine «sostanza» stiamo indicando il soggetto metafisico, l'entità concreta, esistente, il τόδε τι (*hoc aliquid*), individua che possiede una determinata natura, nel nostro caso quella di acido solforico.

Spesso la distinzione aristotelica è stata smarrita nel pensiero sia classico sia moderno

Questa fondamentale distinzione fra sostanza «prima» e «seconda», fra «sostanza» e «essenza» (o «natura») è sempre risultata di assai difficile comprensione per il resto del pensiero antico, tanto che dovette essere riscoperta nel IV sec. d.C., in un contesto molto diverso da quello logico-metafisico aristotelico. Il contesto è infatti quello teologico delle dispute sulle Persone Divine nella dottrina cristiana della SS.ma Trinità, una disputa che porterà all'introduzione nel pensiero teologico ed antropologico occidentale della nozione di «persona» come paradigma di sostanza «prima» individuale, come la più individua di tutte le sostanze prime, visto che è capace di «libertà». Ma di questo ci occuperemo nella V Parte del nostro lavoro.

Ugualmente la distinzione fra sostanza «prima» e «seconda» è risultata di particolare difficoltà anche nel pensiero moderno. Infatti il monismo metafisico implicito nell'approccio riduzionista degli inizi della fisica moderna ha portato la filosofia della natura moderna ad accettare la posizione di B. Spinoza. A considerare l'esistenza di un'unica sostanza, la «natura» (dunque una sostanza «seconda»), che insieme è anche «Dio» (dunque è anche sostanza «prima»: *Deus sive natura*), di cui gli enti individui non sono che accidenti, attributi, manifestazioni particolari e contingenti (Cfr. sopra, pp. 211s.).

La sostanza è la prima delle dieci categorie, dei predicati più fondamentali che posso attribuire a individui

Tornando ad Aristotele, nel resto del *Libro delle Categorie,* a partire dalla fondamentale nozione di «sostanza» nella sua duplice accezione appena illustrata, egli distingue *dieci categorie,* ovvero *dieci predicati fondamentali*; o «predicamenti», che possono essere applicati a qualsiasi ente. In altri termini, per Aristotele, tutto ciò che esiste, qualsiasi cosa esso sia, può essere connotato mediante una di queste dieci categorie che costituisco-

no così i concetti più generali che possano essere pensati, mediante i quali classificare ogni esistente[118].

La prima distinzione che le categorie aristoteliche introducono è quella che si rifà alla scoperta fondamentale dello Stagirita che abbiamo appena illustrato. La prima distinzione rispetto alla quale classificare tutti gli enti consiste nel domandarsi se questo ente *esiste in sé e per sé* (= sussiste) o *esiste in altro da sé*. Domandarsi cioè se l'ente in questione è *sostanza* «prima» (*in sé*) con una sua *essenza* (*per sé*) o non lo è. Ovvero è un ente che per esistere deve *esistere in altro da sé*, in una *sostanza prima* come un qualcosa che *accade* a quella sostanza come un suo *accidente*, come un «evento» più o meno «proprio», tipico dell'essenza di quella sostanza (p.es., crescere fino a quel dato peso o a quella data altezza, acquisire quel dato colore, reagire agli stimoli in quel dato modo, etc.).

Distinzione fra sostanza e accidente: ciò che esiste in sé e ciò che esiste in altro da sé

P.es., quando l'ente che ci fosse di fronte fosse il gatto Poldo, innanzitutto ci rendiamo conto che è un individuo, tanto che per denotarlo come tale, lo indichiamo col suo nome proprio, «Poldo», appunto, che è l'unico modo che abbiamo per indicare la sua essenza individuale, per sé inconoscibile. Il nome proprio costituisce così un «universale uno–di–uno»: la denotazione mediante nome proprio è, infatti, l'unico modo che è a nostra disposizione per significare in universale, cioè «sempre e ovunque» rispetto a *tutti* gli altri enti, «l'unicità *in sé*» di un individuo.

Essenza è l'insieme delle proprietà essenziali che connotano ciò che un individuo è

A questo punto, posto che «Poldo» denota l'individualità del nostro gatto, possiamo usare il termine «Poldo» come soggetto di proposizioni dichiarative con cui connotarlo, con cui «descrivere» la sua essenza, la sostanza «seconda» che si predica della sua sostanza prima. Potremmo perciò cominciare a connotarlo come «un gatto», quindi come «un felino», «un mammifero», «un animale», «un organismo», «un corpo» che è sostanza «prima», individuo capace di sussistere in sé e per sé. Tutti questi predicati sono «universali uno–di–molti», che si applicano, in altre parole, a molti individui e che esprimono a livelli diversi di generalità caratteristiche essenziali dell'essenza di Poldo, di ciò che Poldo «è». Queste proprietà appartengono *necessariamente* a Poldo, esprimono la *perseità* di Poldo.

---

[118] Per dovere di completezza, bisogna qui ricordare che le categorie aristoteliche sono categorie *ontologiche*, hanno a che fare cioè con la definizione della natura degli enti. Non vanno così confuse con le categorie *semantiche* che sono oggetto di una delle branche più studiate della logica e in particolare della *semantica formale* contemporanea.

Accidenti non esprimono ciò che un individuo è, ma determinate proprietà che un individuo *ha*, ovvero qualcosa che gli *accade di avere*

Poldo non sarebbe Poldo se non fosse gatto, felino, animale, etc. Ma Poldo ha anche altre proprietà: p.es., ha la pelliccia di un dato colore o pesa un certo numero di chili. È ovvio che Poldo, mentre *è* un gatto, un felino, un animale, etc., non «è» né la sua pelliccia, né tantomeno quel dato colore della sua pelliccia e neanche il suo peso *x* (p.es., da vecchio potrebbe perdere quasi tutti i suoi peli o ingrigire nei pochi rimasti, oppure potrebbe ingrassare o dimagrire, senza cessare di esistere e di esistere come Poldo). Mentre l'essere gatto, felino, animale, etc. *sono* l'essere di Poldo, costituiscono la sua essenza, gli appartengono *necessariamente*, queste altre caratteristiche (quella peluria, quel colore, quel peso, etc.) non gli appartengono *necessariamente*, ma sono proprietà che l'individuo *ha*. Queste caratteristiche non sono Poldo, ma esistono in Poldo come qualcosa che gli *accade di avere*, come *accidenti* della sostanza–Poldo. Gli «accidenti» — o se preferiamo un nome più moderno per essi: gli «eventi» — che accadono ad un determinato soggetto individuale esistente o sostanza prima, sono enti, *esistono* come le sostanze, ma in un *modo diverso* dalle sostanze. Gli accidenti sono enti che non esistono né *in sé*, come le sostanze prime, né *appartengono per sé, necessariamente,* alle sostanze «prime», come parti delle loro rispettive essenze o sostanze «seconde», ma esistono *accidentalmente* (*per accidens*) nella sostanza–Poldo — come in un'infinità di altre sostanze prime, di altri soggetti individuali anche molto diversi da Poldo, dai gatti o dagli animali (p.es., il peso è proprietà che esiste in tutti i corpi dotati di massa e sottoposti alla forza di gravità, viventi o no). Alla distinzione ontologica «sostanza (seconda)–accidente» corrisponde così la distinzione logica fra predicazione *per se* (= necessaria) e *per accidens* (= contingente) di determinate proprietà o attributi di una particolare sostanza «prima» o individuo sussistente.

Teoria aristotelica delle categorie è teoria di categorie *ontologiche* e non *semantiche*

È chiaro dunque che le categorie di cui ci parla Aristotele sono tutte *categorie ontologiche* che hanno per argomento nomi di enti, sia che questi enti siano sostanze prime, esistenti *in sé*, sia che siano accidenti, esistenti *in altro da sé*. In questo occorre distinguere la teoria aristotelica delle categorie dalla moderna *teoria delle categorie semantiche*. Essa è una branca della logica assiomatica moderna, elaborata, a partire da alcune intuizioni di E. Husserl, per evitare in semantica alcune incongruenze della teoria dei tipi di Russell, così da sostituire alla nozione di «tipo logico» la nozione di *livello semantico*[119].

Illustrata questa distinzione basilare, fra enti che esistono in sé e per sé (sostanze) ed enti che esistono in altro da sé (accidenti) elenchiamo le

---

[119] Come in ontologia aristotelica l'accidente dev'essere predicato sempre di una sostanza, così in semantica, per evitare le antinomie, l'argomento di un predicato appartenente al livello semantico *n* dev'essere di livello semantico inferiore, almeno *n*–1. Questo, in soldoni, afferma la teoria dei livelli semantici.

dieci categorie secondo l'elenco (Tavola delle Categorie) datone da Aristotele in questo suo Libro:

Prima categoria è la sostanza nel senso di sostanza seconda

**1.** La prima categoria è quella di *sostanza*. È ovvio che se essa viene intesa come «predicamento», come uno dei predicati fondamentali che si possono attribuire a determinati enti, qui non si sta intendendo la sostanza prima, ma la sostanza «seconda», in quanto espressione di ciò che una sostanza «prima», un dato individuo *è*. In particolare, dice Aristotele (*Cat.* 5, 3b, 19-21), la sostanza seconda non esprime semplicemente la qualità (p.es. il colore), ma *la qualità che caratterizza una sostanza* «prima» individuale, in modo particolare il *genere* e la *differenza specifica* che denotano la natura o essenza di un dato individuo nella relativa proposizione categorica (p.es., «Gianni è un animale razionale»). Posto infatti che la sostanza «prima» (p.es., Gianni) sia «uomo» (= sostanza «seconda» o «classe» cui Gianni appartiene), «uomo» si definisce come «animale (= genere (prossimo)) razionale (= differenza specifica)». Il genere e la differenza specifica è ciò che si predica di una sostanza «prima» in quanto tale, è ciò che determina un soggetto (sostrato) individuale in quanto tale. Denota la qualità intrinseca di una sostanza «prima», di un individuo, appunto la sua «essenza» o «natura», non denota una qualità che a quell'individuo «accade» di avere come sua proprietà o «accidente» (p.es., l'avere un determinato colore). In altri termini, la sostanza «seconda» è ciò che una data sostanza «prima» o individuo (p.es., Gianni) *è* (p.es., uomo), gli altri accidenti sono ciò che l'individuo *ha* come sua proprietà (p.es., il colore della pelle).

Le altre nove categorie

Le altre nove categorie riguardano dunque accidenti (proprietà) che possono esistere non in una, ma in molteplici sostanze individuali anche molto diverse tra loro (p.es., di esser bianco accade non solo a determinate razze di uomini, ma anche alla farina, alla neve o ad un foglio di carta...). Esse sono:

**2.** *Quantità* (discreta e/o continua), legata immediatamente alla *materia*[120] di cui (l'essenza di) una sostanza prima è costituita.

---

[120] O, comunque al principio potenziale di cui una sostanza prima è costituta. Questa notazione di per sé non è aristotelica, ma scolastica. Nella scolastica infatti si ammettono sostanze personali, quindi prime, non materiali (p.es., angeli) che possono essere contati, pur senza essere composti di materia. È chiaro che in quel caso il principio della molteplicità quantitativa — andando oltre Democrito — non può essere la materia (rispetto alla forma), ma un altro principio potenziale: l'essenza rispetto all'essere (come atto). Infatti ogni «individuo» angelico costituisce una *specie* a se stante: non esistono mai angeli della stessa specie. Il principio della moltiplicazione degli individui all'interno della stessa specie è infatti la materia nel caso degli enti fisici (di qui la definizione della «materia determinata dalla forma come principio di individuazione» all'interno della specie. Nel caso

3. *Qualità*, legata immediatamente alla *forma* di cui (l'essenza di) una sostanza prima è costituita.

4. *Relazione*, che, insieme con le altre due precedenti categorie costituiscono gli accidenti «propri» o *intrinseci* di una sostanza prima, quelli più direttamente legati alla natura o essenza di quell'individuo. Le altre cinque categorie cono nell'ordine:

5. *Azione*
6. *Passione*

in ogni relazione con altri enti, alla sostanza prima accadrà sempre di essere o nella posizione di «agente» o in quella di «paziente».

7. *Luogo*, altro accadimento tipico di una sostanza prima è la sua collocazione *spaziale*.

8. *Tempo*, altro accadimento tipico di una sostanza prima è la sua collocazione *temporale*.

9. *Abito*, altro accadimento tipico di una sostanza prima è quello di acquisire determinate proprietà

10. *Sito*, oltre alla collocazione spazio-temporale, ad ogni sostanza prima accade di trovarsi in una particolare relazione di ordinamento rispetto ad altri enti[121].

Dottrina delle categorie come base ontologica della logica dei predicati e delle tecniche sillogistiche d'inferenza induttiva e deduttiva

La distinzione fra la sostanza prima, la sostanza seconda e gli accidenti che alla prima ineriscono, ovvero la dottrina delle «dieci categorie» appena illustrata, costituiscono il fondamento ontologico della *logica aristotelica dei predicati* (come logica delle proprietà, a base dunque intensionale) e delle *tecniche sillogistiche* (letteralmente: «tecniche di calcolo») di costituzione di proposizioni. Di associare validamente, cioè, soggetti e predicati, con diversi gradi di necessità, mediante *inferenze induttive* (sillogismo induttivo e metodi analitici di ricerca del termine medio) e *deduttive* (sillogismo deduttivo, «dimostrativo» o scientifico nelle sue varie modalità, apodittiche e ipotetiche, forme e figure). Delle tecniche sillogistiche, delle sue diverse modalità, forme e figure formalmente valide si occupa il primo testo di *logica formale* mai scritto nella storia dell'umanità, gli *Analitici Primi*. Dell'applicazione di queste tecniche e forme nella costruzione di *modelli** sintatticamente consistenti e semanticamente veri, all'interno delle diverse scienze e delle loro procedure dimostrative (*logica materiale o dei*

delle sostanze spirituali, ci può essere solo molteplicità di specie–individui, ognuna con la sua essenza propria, all'interno del medesimo genere.

[121] Per dovere di completezza, bisogna ricordare che in altri elenchi aristotelici, le categorie citate non sono dieci, ma otto, essendo le ultime due categorie, «abito» e «sito» inglobate, rispettivamente, in quella di «qualità» e «luogo».

*contenuti*) si occupa invece l'altro grande testo dell'*Organon* aristotelico: gli *Analitici Secondi*.

Le essenze sono il fondamento reale degli universali logici. Ma dove e come esistono le essenze?

A questo punto s'impone una questione: ma se le essenze o «nature» delle cose non esistono in nessun mondo ideale — pur essendo, comunque, il fondamento *reale* degli *universali* concettuali che come «idee» esistono solo nella mente di chi li pensa, come prodotti della *facoltà astrattiva* della mente umana —, allora siffatte essenze «dove» e «come» esistono? In che senso le essenze costituiscono delle «realtà» distinte dagli universali del pensiero, anzi costituiscono il fondamento della verità di questi ultimi?

Risposta alla suddetta questione attraverso la dottrina dell'atto e della potenza

Per rispondere a tale questione, occorre fare un'ulteriore passo e comprendere come la distinzione *forma–materia* come costitutivi primi ed irriducibili di ogni ente —sia esso una sostanza «prima» o «seconda» o un accidente[122] — appartenente al mondo fisico, costituiscano, in quanto rispettivamente, *atto* e *potenza*, la chiave di volta per la soluzione dell'ultimo dei tre problemi posti da Parmenide ai suoi successori: il problema della consistenza o non-contraddittorietà del *divenire*.

### 5.4.3 Terza risposta a Parmenide

Giustificazione di tutte le forme di divenire attraverso *atto–potenza* applicato a *forma–materia*

Attraverso la distinzione dei due principi costitutivi e *irriducibili*, *materia* e *forma*, dell'essenza di ogni ente fisico, sia esso sostanza («prima») o accidente, Aristotele fornisce una risposta anche al terzo problema di Parmenide, quello della presunta *contraddittorietà del divenire* (Cfr. § 5.1.4, pp.310ss.. Per far questo egli considera la materia come «*potenzialità* ad esistere», o *essere in potenza* e la forma come «*attualità* di essere» come ciò che attualizza, determina la materia ad esistere come un determinato *ente in atto*.

Divenire non è passaggio da essere a non–essere o viceversa, ma dall'essere in potenza all'essere in atto e viceversa

Infatti, una volta introdotta la distinzione fra materia e forma come costitutivi di un ente fisico — la forma *sostanziale* come costitutiva di una sostanza, quella *accidentale* come costitutiva di un accidente — il divenire da un ente $A$ ad un ente $B$, sia esso sostanza o accidente:

$$A \rightarrow B$$

non implica alcuna contraddittorietà perché non implica il passaggio da $A$ al non-essere assoluto di $A$ (o, viceversa, il passaggio a $B$ dal non-essere assoluto di $B$). Il divenire infatti non implica la negazione *totale*, poniamo, di $A$ (= l'annihilazione di $A$), ma solo di uno dei suoi due principi costitutivi: il suo principio formale. Ogni ente in divenire

[122] È chiaro che la forma costitutiva di una sostanza sarà detta *forma sostanziale*, mentre quella costitutiva di un accidente sarà detta *forma accidentale*. È una distinzione questa che ci ritornerà utile più volte in seguito.

(= ente «fisico» o «naturale», ovvero che «nasce e perisce») infatti è costituito di un principio materiale *potenziale, indeterminato* «$x$» comune a tutti gli enti fisici ed un principio formale *attuale, determinante,* diverso per ciascuna specie di enti (= forma specifica) e, al limite, per ciascun singolo ente (= forma individuale). Un principio attuale determinante, effetto di una causalità *agente* sul sostrato materiale. Quindi, il divenire dall'ente $A$, sinolo di materia-forma, $(x + a)$, all'ente $B$, altro sinolo di materia-forma, $(x + b)$ significa:

$$A \rightarrow B = (x + a) \rightarrow (x + b)$$

Divenire come *transito* di una materia sotto diverse forme (*trasformazione*)

Il divenire dunque per Aristotele è propriamente una *tras*-formazione di una materia indeterminata. Ovvero il *passaggio* di una *materia* ($x$) dall'essere attualizzata in un determinato ente sotto una determinata *forma* (p.es., $a$, diciamo la forma di «legno»), per l'azione di una particolare causalità agente, all'essere un diverso ente sotto un'altra forma (p.es., $b$, diciamo la forma di «carbone»).

Spiegazione causale del divenire implica distinzione fra potenza *attiva* e potenza *passiva*

Dove la «$x$», indica l'indeterminazione, la *potenzialità* della materia. Nel senso che essa, esistendo *attualmente* sotto forma, p.es., di legno, è in potenza *passiva* ad altre determinazioni di cui è attualmente *privata*. Per l'azione di un'ulteriore, opportuna *causa agente* (= potenza *attiva*), p.es., il fuoco, essa cesserà di essere attualizzata sotto forma, p.es., di legno per essere attualizzata, p.es., sotto forma di carbone. Ogni materia infatti può essere attualizzata solo *da una forma per volta*: è in atto sotto una forma e per ciò stesso *privata*, mancante, di un numero indefinito di altre forme (= *principio di privazione*).

Spiegazione causale divenire, principio di *privazione* e *materia prima*

Questo numero sarà attualmente finito per tutte le materie da Aristotele definite «seconde» (*materia seconda*), costituite cioè da una particolare combinazione di elementi, combinazioni che possono darsi a diversi livelli di complessità (nella fisica odierna, possono darsi a livello sub-atomico, atomico, molecolare, per limitarci alla sola fisica «microscopica»). P.es., nei termini della fisico–chimica moderna ovvero della fisica molecolare, la «materia organica», i composti macromolecolari del carbonio, sono «in potenza» ad un numero indefinito, ma comunque finito, di forme di cellule e dunque di tessuti organici compatibili con la natura di questi particolari materiali. Viceversa, la materia inorganica, quella cosiddetta «minerale», non è «in potenza» ai composti organici, ma a molti altri composti inorganici che non sono ottenibili dalle macromolecole organiche. Scendendo di livello di complessità, al livello della fisica atomica, è ovvio che quei composti più elementari (gli atomi) saranno «in potenza» più «remota» ad un numero maggiore di enti fisici, sia organici che inorganici, di quanto non lo siano i complessi molecolari del livello superiore, e così via.

Viene allora spontanea la domanda: ma esiste un livello di organizzazione della materia talmente infimo (effettivamente: un'assenza o *privazione* assoluta di organizzazione o di forma) da essere «in potenza» a *tutte* le forme di enti materiali attualmente esistenti nell'universo fisico (= *materia prima*)? Tanto la fisica aristotelica come quella contemporanea quanto–relativista rispondono di sì.

Diversi livelli di potenzialità passiva alle forme inversamente proporzionale al grado di organizzazione di un sostrato materiale → *materia prima*

Tanto per l'una come per l'altra, l'evidenza della trasformabilità reciproca fra le particelle elementari (non composte), ultime componenti di tutti i corpi fisici esistenti nell'universo (quark e leptoni per i contemporanei, particelle di aria, acqua, terra e fuoco per Aristotele) suppone che, contro l'ipotesi dell'atomismo metafisico (Cfr. § 5.2.2, pp. 312ss.), non queste particelle materiali siano l'ultimo costituente materiale di tutti i corpi. Dev'esserlo, invece, un sostrato materiale comune senza alcuna forma (la massa–energia per i contemporanei, la «materia prima» per Aristotele) e quindi non esistente «in atto» come tale — non può esistere un ente fisico non composto di materia e forma — ma sempre e solo come *sostrato potenziale* (p.es., l'*assoluta instabilità* del cosiddetto «vuoto quantistico»), alla trasformabilità reciproca degli elementi (Wallace 1996). Torneremo nella Terza Parte del nostro lavoro su questi interessanti punti di contatto fra cosmologia quanto–relativista e filosofia della natura aristotelica.

Problema: *modo di esistenza delle forme* nella materia: non sono implicite nella materia prima

Un'ulteriore, delicatissima questione è dunque la seguente: *in che modo esistono le forme nella materia?* Un modo profondamente erroneo di concepire «l'esistere in potenza» di queste forme nella materia, molto diffuso nella modernità, è stato quello di concepirle come «implicite» nella materia come i teoremi nei postulati di una procedura dimostrativa. Questo modo di interpretare la teoria aristotelica era, ovviamente, debitore di un'ansia di «concordismo» fra la filosofia della natura aristotelica e la fisica moderna delle origini. Quella fisica che considerava i sistemi dinamici integrabili — quelli il cui stato finale era implicito nelle condizioni iniziali come i teoremi negli assiomi della geometria —, come paradigma dei sistemi fisici esistenti in natura.

Viceversa, per Aristotele, l'esistenza in potenza delle forme in una determinata «materia» dipende dall'azione di una causa agente proporzionata che «fa esistere» quella forma in una determinata materia. Così da un pezzo di legno, per l'azione di uno scalpello si può farne una statua, e per l'azione del fuoco si può farne un pezzo di carbone. Il legno sarà in potenza passiva alla statua, grazie alla potenza attiva dello scalpello, ed in potenza passiva al carbone grazie alla potenza attiva del fuoco, ma nel

legno in sé considerato non è «implicita» né la forma (accidentale) della statua né quella (sostanziale) del carbone[123].

Eduzione della forma dipende dal concorso delle cause agenti

Torneremo fra poco su questa essenziale distinzione fra «d'essere in potenza», p.es., di un teorema in un insieme di postulati di un sistema formale «chiuso» — dove per davvero si può affermare che il teorema era implicito nei postulati: nessuna informazione nuova viene aggiunta che non fosse già contenuta nei postulati di partenza — e l'«essere in potenza» di una forma nella materia nell'ordine fisico. In quest'ultimo caso, la forma non è affatto «implicita» o «nascosta» nella materia. La sua attualizzazione in essa dipende dal concorso causale delle cause fisiche agenti sulla materia che produce un «di più» d'informazione nella materia stessa che non era nello stato iniziale del processo.

Nei termini della filosofia aristotelica medievale: la «forma» viene *edotta* dalla materia, non *dedotta* da essa come un teorema dalle sue premesse. Inutile anticipare qui, come questo schema causale aristotelico «atto–potenza» possa costituire uno schema sostitutivo di quello moderno humiano–kantiano, messo in crisi dalla scoperta dei sistemi caotici e della loro stabilità fuori dall'equilibrio, assolutamente non predicibile dalle (= non implicita nelle) condizioni iniziali, di cui abbiamo accennato in precedenza (Cfr. § 2.7.2, pp. 162ss.). Torneremo alla fine del presente capitolo su questo punto.

Divenire come passaggio fra due diversi modi di essere

Per ora occorre fissare bene questo punto: il divenire non è contraddittorio, perché non è passare dall'essere al non–essere o viceversa: l'essere è e non può non essere, come Parmenide ci ha insegnato! Solo che «essere» si dice in molti modi e non in un solo modo come si ostinano ad affermare ancora i parmenidei odierni. Così «divenire» significa non passaggio fra essere e non–essere o viceversa, ma passaggio fra *due diversi modi di essere,* l'essere–in–potenza e l'essere–in–atto e viceversa, di forme che vanno ad organizzare un comune sostrato materiale, attualizzando, facendo esistere così diversi enti fisici, enti caratterizzati da diverse «nature» o «essenze specifiche»[124].

---

[123] Trasformare un ciocco di legno in una statua è infatti far subire al legno una trasformazione accidentale che non cambia la natura (fisico–chimica) della sostanza in questione. Viceversa, trasformare il medesimo ciocco di legno in un tizzone di carbone è una trasformazione sostanziale, fa cambiare la sostanza «seconda» (la natura) dell'oggetto in questione. Torneremo nella Parte Terza di questo lavoro su queste fondamentali distinzioni della filosofia della natura aristotelica.

[124] È strano che a più di duemila anni da Aristotele vi sia chi continui ancora ad affermare l'assurdità del divenire perché supporrebbe un'assurda affermazione dell'esistenza del non–essere o della non–esistenza dell'essere, come per esempio da oltre trent'anni continua indefessamente Emanuele Severino, semplicemente per la sua ostinazione a non voler accettare il punto fondamentale di tutta la metafisica occidentale dopo Platone, Ari-

Problema: modalità di esistenza delle essenze nel mondo fisico

Concentriamoci allora sulla questione metafisica della modalità d'esistenza delle essenze nel mondo fisico — visto che per Aristotele non esiste alcun «mondo delle idee» — ed in particolare delle essenze specifiche o «sostanze seconde» nella filosofia della natura aristotelica. Ciò sarà un altro modo per affrontare la questione epistemologica del fondamento extra–mentale degli universali che per Aristotele, come tali, esistono solo nella mente di chi li pensa.

## 5.4.4 Fondazione causale delle essenze

La materia non può sussistere da sola senza la forma: la materia non è sostanza prima

Secondo lo schema metafisico aristotelico, *la materia non può esistere da sola*, senza la forma, *né la forma può esistere senza la materia*, almeno nel mondo fisico. La materia non è *sostanza* «prima», ovvero non è un ente capace di sussistere da solo come «soggetto metafisico», come una sostanza prima, un «ciò-che-esiste» individuale (*id quod existit*). Essa è spesso definita *sostrato* da Aristotele, ma non come è «sostrato», soggetto metafisico, una sostanza prima, un *individuo* esistente in atto.

Materia = sostrato delle forme comune a più individui *versus* sostanza = = sostrato individuale degli accidenti

Al contrario la materia è sostrato potenziale, *comune* a tutti gli enti materiali, sostanze o accidenti, così che essa, come la *forma sostanziale o accidentale* di ciascun ente (rispettivamente di una sostanza o di una accidente), è solo un principio «mediante il quale» (*id quo*) gli enti naturali (siano essi sostanze o accidenti) esistono come tali. La materia insomma non è un «ciò-che-esiste» (*id quod existit*), un sostrato *individuale* o sostanza prima, ma è un sostrato *comune*, un «ciò-mediante-cui qualcosa esiste» (*id quo aliquid existit*). Più esattamente la materia è «ciò mediante il quale» tutti gli enti fisici, sostanze o accidenti, esistono.

La materia comune insomma è un *id quo* comune a tutti gli enti fisici e non un *id quod* individuale. Ecco perché la filosofia aristotelica non è un «materialismo». Aristotelicamente parlando, tutti i materialismi sono quelle filosofie della natura incapaci di distinguere fra *sostrato comune* (materia) e *sostrato individuale* (sostanzialità prima, esistenza in sé) degli enti fisici.

Forme non sono sussistenti come non è sussistente la materia

Secondo Aristotele, dunque, ogni *forma*, anche la forma *sostanziale, individuale* di un ente che è sostanza «prima» — non solo quella *accidentale* di un suo evento che invece può solo «accadere a» (può *esistere in*) molte sostanze individue (p.es., un dato colore) —, è *edotta*, «tratta fuori» dalla potenzialità della materia, per l'azione di un altro ente fisico con funzione di *causa agente*. In altri termini, tutte le forme (eccezion fatta per l'anima umana) non si aggiungono «dal di fuori» della materia, proprio

---

stotele e Tommaso. Che l'essere cioè si dice in molti modi ed innanzitutto come «essere in potenza» ed «essere in atto». Sulla questione rimando a (Basti & Perrone 1996).

perché le forme degli enti fisici, per quanto appena detto, non possono esistere da sole «fuori» della materia. Anch'esse come la materia, non sono *sostanze «prime»*, enti capaci di sussistere da soli come «soggetti metafisici», come un «ciò-che-esiste» (*id quod existit*), ma sono principi «mediante i quali» i soggetti metafisici, i singoli enti, esistono come tali. Sono insomma un «ciò-mediante-cui» qualcosa esiste (*id quo aliquid existit*). Materia e forma sono dunque *id quo* e la sostanza, o «sinolo» di esse, è *id quod*. Ecco perché la filosofia aristotelica non è un «materialismo», ma un *ilemorfismo*.

Per capire come avviene questa «eduzione» della forma dalla materia, bisogna allora fare un passo indietro alla critica di Aristotele a Platone.

Eduzione delle forme dalla materia = giustificazione dinamica dell'esistenza delle forme

Siccome la diversità non è derivabile dall'identità, né la materia dalla forma (Cfr. sopra {5.4.1, pp. 323ss.), Aristotele giustifica *dinamicamente* la diversità e molteplicità degli enti. La materia «prima» (= sostrato potenziale, non esistente in atto come tale, comune a tutti gli enti fisici, a cominciare dalle particelle elementari di cui tutti i corpi sono fatti), indica, non una «cosa» (*id quod*), bensì la potenza ad infinite forme materiali di enti, in quanto la materia fisica è *in continuo divenire*.

La materia fisica non è la statica estensione geometrica (*versus* Descartes)

La *potenzialità* (= indeterminatezza) della materia prima degli enti fisici ad *infinite* forme non va intesa perciò in senso statico, come l'esempio geometrico della lunghezza del segmento poteva indurre a pensare (Cfr. Figura 5-1 di p. 329). In altri termini, la potenzialità della materia prima ad infinite forme non va intesa come se la materia prima fosse assimilabile all'estensione geometrica dei moderni. Come se fosse assimilabile ad un'infinità «compatta» di punti per cui ogni linea, ogni figura, ogni solido descrivibile in essa, altro non è che un modo particolare di connettere (combinare) dei punti in tale estensione secondo un particolare ordinamento o «legge» (funzione) deducibile dai postulati che definiscono lo spazio geometrico stesso.

Essere in potenza di un ente geometrico nel continuo è un essere *implicito, statico* come i teoremi nei postulati

In tal senso l' «essere–in–potenza» di una certa forma nell'estensione geometrica dice un'essenziale *staticità*, non implica alcun divenire o cambiamento. I punti già esistono *in atto* nel continuo geometrico della matematica moderna: attualizzare una forma in esso significa solo rendere *esplicito* ciò che è logicamente *implicato* ma *implicito* («nascosto» o «non–ancora–evidente») nei postulati di partenza. L' «essere in potenza» di un ente matematico è insomma un qualcosa che può essere sempre rimosso: non è l'assenza di determinazione, è solo il non aver ancora esplicitato, reso evidente quanto è già implicitamente determinato.

Essere potenziale della materia fisica dice invece *indeterminatezza* in senso *dinamico*, «essere delimitato eppur sempre diverso»

L'infinità potenziale della materia aristotelica dice invece un'essenziale, irriducibile *indeterminazione* del sostrato materiale *finito* dell'ente fisico. Quest'essenziale indeterminazione della materia è definita da Aristotele come un «essere delimitato, eppure sempre diverso» (*Phys.* III,206a,34), come «l'indefinita variazione del finito» (G. Cantor). L'infinità potenziale della materia, allora, è ciò per cui la materia senza la forma sarebbe un «esser sempre diverso», sarebbe *la pura casualità del divenire.* P.es., con un'analogia matematica, una sequenza casuale di numeri, è una sequenza in cui non v'è alcuna ripetizione, alcuna periodicità e quindi dove non vi è alcuna funzione o «legge» mediante cui predire il valore successivo dati i valori precedenti.

Dice Aristotele: la materia fisica «è (in potenza)» ad una forma non nel senso dell' «essere implicita» di una figura nell'estensione geometrica, o più esattamente, nei postulati che definiscono la varietà in questione: «nelle grandezze matematiche, dice Aristotele, si ha infinità perché permane ciò che si è assunto nel porre l'infinito» (*Ivi,* 35). La forma, l'informazione è tutta nelle premesse, in ciò che è stato posto nelle assunzioni di partenza. Quindi nella matematica classica, come in tutto ciò che è deduttivo, ogni cosa è predicibile ed aspetta solo di essere esplicitato. La materia fisica, invece, «è in potenza» per Aristotele nel senso in cui

> un giorno *è* o una gara *è*, poiché questi diventano sempre qualcosa di *diverso,* ed invero negli esempi ora riferiti l'essere è in potenza ed anche in atto (*Phys.*, III,6,206a,23-24).

Materia è un finito in divenire di cui non si conosce la legge per prevedere gli stati successivi, un finito in atto, idefinito in potenza ovvero *dinamicamente*

Esiste forse un istante del giorno o della gara che è uguale a qualcuno dei precedenti o dei susseguenti? O esiste forse una «legge» mediante cui predire con assoluta certezza ciò che avverrà all'istante successivo della gara o della mia giornata? Per definizione, ciascun istante di un giorno o di una gara è diverso dal precedente. Nella gara, in ogni istante esiste *in atto* una ben definita reciproca posizione degli atleti, rispetto ad una data localizzazione dei medesimi nello stadio. Ma questa posizione è ciò che sarà comunque diverso e impredicibile all'istante successivo della gara. Ogni materia, grazie alla sua forma, è in *atto* qualcosa di *finito* e di *definito,* ma la materia presa per se stessa, senza la forma, è un non–definito che può esser definito. Ogni materia è sempre un «finito» ed un «definito» *in atto* che è un «infinito» e un «indefinito» *in potenza.*

Materia dice insomma instabilità intrinseca di un sistema dinamico

La materia, in quanto principio costitutivo di ogni ente fisico, dice essenzialmente l'instabilità intrinseca dei moti di un sostrato di elementi come vedremo in § 6.3.2.1, pp. 431 ss. Per questo Aristotele diceva che alla materia compete tanto l'essere in potenza (per se stessa) come l'essere in atto (per la forma). L'infinità in potenza della materia fisica dice insomma un divenire assolutamente impredicibile, senza alcuna stabi-

lità o periodicità (= forma in senso pitagorico) ovvero, senza *ordine reciproco delle parti*, né spaziale, né temporale *predicibile* mediante legge. Per questo per Aristotele la fisica non poteva ridursi a geometria, contro gran parte del pensiero greco e moderno (Cfr. § 1.1, pp. 55ss.)! Avevamo dunque ben ragione — insieme a diversi altri Autori che già si sono occupati della questione — a richiamarci alla filosofia della natura aristotelica come quella che meglio poteva render conto dello stato dell'arte della fisica contemporanea dopo la scoperta del ruolo preponderante delle instabilità dinamiche nello studio dei sistemi fisici *reali* (leggi: «complessi» Cfr. § 2.7.2, pp. 162ss).

Potenzialità fisica, dinamica, della materia si contrappone alla statica, possibilità logica

La *potenzialità fisica* della materia non è insomma statica *possibilità logica*, come nel caso dell'estensione geometrica, contrariamente a quanto pensava il meccanicismo di Descartes e della fisica moderna. Le forme non esistono in potenza nella materia fisica, come i teoremi esistono in potenza (= *implicitamente*) negli assiomi di un sistema formale di deduzioni (p.es., la geometria euclidea). Le forme non sono «nascoste» nella materia, bensì vi esistono in *potenza passiva*.

Eduzione di una forma dalla materia = stabilizzazione parziale di un'instabilità dinamica ad opera di agenti esterni

Ovvero, non esistono attualmente finché non c'è una *causa agente* sufficiente (= *potenza attiva*) in grado di de-*terminarle*, quindi di «farle esistere» nella materia, nel sostrato dinamico dei moti instabili degli elementi. Proprio per l'essenziale somiglianza con le instabilità dinamiche, possiamo usare la stessa metafora della stabilizzazione delle stringhe casuali di simboli per fare un esempio intuitivo di quanto Aristotele ci sta qui suggerendo come meccanismo causale di «eduzione» delle forme dalla indefinita/infinita potenzialità (instabilità) della materia.

P.es., la sequenza:

XCGDXWQCOXUIZWNPFGYTRQWEXCVU….

è chiaramente casuale. Nei termini di Aristotele, è una successione sempre «diversa». Pur tuttavia, se la sotto-sequenza «XCGDXWQCO» fosse stabilizzata nella sequenza suddetta, così da renderla periodica:

XCGDXWQCOXCGDXWQCOXCGDXWQCO

una nuova forma sarebbe stata edotta dalla potenzialità di una materia «disposta» ad essa.

In questo senso la forma è «limite» «soglia» «termine» della materia, che confina e ordina il moto di un sostrato di elementi

L'eduzione della forma dalla materia ad opera di una causa agente, ovvero ad opera di un altro ente, significa dunque aristotelicamente porre un *limite* a questo divenire della materia, *de-terminarlo* (= porvi un termine), dopo che un'ulteriore azione causale, all'inizio del processo, ha indotto un'instabilità in essa «rompendo» lo stato stabile (=periodicità) precedente. L'eduzione di una forma materiale (sostanziale o accidentale) da

una materia significa *stabilizzare*, almeno provvisoriamente (= il tempo dell'esistenza fisica o «durata» di un certo ente fisico), il sostrato dinamico dei moti caotici degli elementi, secondo una o più delle diverse configurazioni ordinate (periodiche o pseudo–periodiche) possibili.

Aristotele definiva «disposizioni» questi ordinamenti parziali del sostrato, che possono essere acquisiti o perduti

Aristotele definiva questi ordinamenti potenziali del sostrato materiale *disposizioni*, ovvero «qualità» che possono mutare, che possono essere «perdute» o «acquisite», per l'azione di agenti fisici e che, in quanto più o meno provvisoriamente «stabilizzate», «acquisite» in un sostrato materiale, divengono «abiti», disposizioni *stabili*(zzate). Ovviamente, qui «qualità» e «abito» vanno intese nel senso dell'elenco delle categorie aristoteliche (rispettivamente la categoria terza e nona) riportato a pp. 336s.[125]. Riportiamo per comodità un testo aristotelico su questo punto che commenteremo in dettaglio più oltre (Cfr. § 6.3.2.1, pp. 431ss.):

> La forma è un *termine* (τέλος) e un *ciò-in-causa-del-quale* (τὸ οὗ ἕνεκα). Infatti poiché il movimento (degli elementi) è *incessante*, c'è bisogno di un termine e di un ciò-in-causa-del-quale tale termine è raggiunto (*Phys.*, II,2,194a,27-29).

In un altro testo, Aristotele è ancora più chiaro:

> Quando l'agente è presente, il paziente subisce un cambiamento. Ma quando gli stati (letteralmente: gli «abiti») sono presenti, esso non è più in divenire, ma ormai *è*. Ora, gli atti (= forme) e gli stati finali di un moto sono appunto una sorta di abiti (*De Gen. et Corr.*, I,7,324b,15-18).

Punto di contatto con la teoria dei sistemi complessi contro il dogmatismo geometrico in dinamica

Siccome la teoria delle instabilità dinamica e dei sistemi fisici complessi nella fisica contemporanea muove dallo stesso assunto di critica al dogmatismo «geometrico» in fisica — dei moderni stavolta e non degli antichi —, non è casuale che gli esempi migliori che si possono fare al lettore contemporaneo per illustrare quanto si va qui dicendo nel ricostruire la teoria aristotelica possano trovarsi in quanto si diceva per esemplificare la moderna teoria dei sistemi complessi (Cfr. §§ 2.6.1-2.7, pp. 142ss.).

«Causa» non è una categoria, un predicato «primo», ma nozione composta

In ogni caso, appare qui chiaro come la nozione di «causa» sia per Aristotele non una categoria, un predicato «primo» o «predicamento» come sarà per Kant nella modernità, ma una nozione derivata da ben tre categorie: *la relazione*, *l'atto* e *la potenza*. In questo senso, dicevamo, a proposito dei sistemi instabili che hanno fatto saltare nella fisica contemporanea

---

[125]Ricordiamo come nella cosmologia aristotelica solo gli enti terrestri erano corruttibili perché la loro materia era costituita da elementi (particelle di fuoco, aria, acqua, terra). Viceversa, i corpi celesti, ovvero le sfere trasparenti con pianeti e stelle infisse sopra di essi che coi loro moti concentrici costituivano il firmamento secondo la cosmologia aristotelico-tolemaica, erano incorruttibili, immutabili e i loro moi circolari perfettamente predicibili in maniera geometrica, perché fatti di materia (*etere*) non composta di elementi.

lo schema causale kantiano, che è dalla filosofia della natura d'ispirazione aristotelica che potrebbe venire il nuovo schema in grado di render conto dell'impredicibilità logica ed insieme della determinazione causale che caratterizza i sistemi «complessi» in fisica.

Forma è atto perché:

Tornando alla nostra esposizione dei principi-guida della filosofia naturale aristotelica, la forma materiale di un ente fisico è «atto»:

1. Relativa a una potenza

- Perché è sempre *relativa* ad una *potenza*, atto/potenza e forma/materia cioè sono due termini correlativi, prenderli separatamente e un non senso, aristotelicamente parlando.

2. Deriva da un agente

- Perché deriva da una causa «agente» *estrinseca*, esterna al sostrato materiale da cui la forma viene edotta.

3. Perché è «termine intrinseco», di un sostrato disordinato di moti, *entelechia*

- Perché è per se stessa, *intrinsecamente*, il limite, πέρας, che de-*termina*, conferendole per ciò stesso un *ordinamento* che prima non aveva,[126] una materia in continuo divenire, stabilizzandola e quindi diversificandola come un *tutto* ordinato, o *ente*. *Actus* in latino, che privilegia la dipendenza della forma dalla causa agente, traduce il greco aristotelico di ἐντελέχεια (= ciò-che-possiede-in-sé-il-termine) che privilegia invece il senso della forma come *limite intrinseco* che «contiene dentro di sé» (e dunque ordina) una materia in divenire caotico.

Più generalmente, affermare che la forma è un limite che ordina i moti della materia, significa per Aristotele porre il divenire della materia stessa entro *una soglia* min-max di mutazioni ordinate possibili, che costituiranno così l'insieme degli eventi o «trasformazioni accidentali» consentite *di* quell'ente (p.es., il crescere di un gatto fino ad una certa grandezza adulta), senza che esso subisca una trasformazione sostanziale che farebbe assumere alla sua materia una (o più) natura(e) completamente diversa(e) (p.es., la morte di quel gatto e la conseguente «corruzione» della sua carcassa). La forma è «limite» (πέρας), nel senso che «delimita» l'insieme di quei mutamenti possibili ad un ente (= mutazioni accidentali) senza perdere la sua identità o forma sostanziale (p.es., di gatto). Quando quella soglia viene oltrepassata, p.es., per un'azione violenta, abbiamo la «corruzione» di quella forma (sostanziale) e la «generazione» di un nuovo ente (p.es., nel caso dell'uccisione di un gatto, la corruzione della carcassa significa, come nel caso della corruzione di un qualsiasi organismo animale, la generazione di molti altri organismi, animali e vegetali...).

Ecco un efficace testo di Tommaso a commento di quel brano della *Metafisica* aristotelica dove si sottolinea, contro i «Platonici», il carattere di

---

[126] Ricordiamo che per ordinare un processo, è sufficiente determinarne almeno uno dei limiti superiore e/o inferiore.

«sinolo», σύνολον, (materia-forma) di ogni essenza, sia essa una «sostanza seconda» (genere, specie) o una «sostanza prima» (ente singolo concretamente esistente, definito da quell'essenza: Cfr. § 5.4.2, pp. 330ss.), e dove la distinzione materia-forma viene resa con l'esempio aristotelico della casa. La forma corrisponde così al tetto ed all'ordinamento delle pietre e del cemento, che, a loro volta, costituiranno il principio materiale, contenuto, ordinato «sotto», «dentro» il principio formale. È il concetto di materia come *subliminare* (= posta sotto il limite, dentro la soglia) della forma nella costituzione dell'essenza di un qualsiasi ente fisico.

> Innanzitutto Aristotele si pone la domanda (...) se il nome di «specie» significa una sostanza (seconda, *N.d.R.*) composta, o soltanto una forma, oppure qualcosa che si trova al posto dell'atto. Per esempio, la questione è se il nome di «casa» significhi comunemente una certa materia con una certa forma, metti come se casa significasse un riparo (*tegumentum*) costituito di cemento e di pietre ed ordinato come si conviene (infatti l'esser-riparo è come la forma, il cemento e le pietre come la materia); oppure se il predetto nome significhi soltanto l'atto e la specie, ovvero l'esser-riparo (Tommaso d'Aq., *In Metaph.* VIII,iii,1705).

Essenza dell'ente materiale non è pura forma

Affermato, per quanto sopra, che l'essenza di ogni ente fisico è costituita di materia e forma e non di sola forma come sostenevano i Platonici, Tommaso commenta invece positivamente l'obiezione dei Platonici contro coloro che affermano che la forma è qualcosa che appartiene alla materia dell'ente. Dice Tommaso:

> essi dicono il vero, poiché se la forma fosse una delle parti della materia, dipenderebbe da questa. E questo è evidentemente falso. Poiché la composizione e la mistione, che sono principi formali, non sono costituite da quelle cose che vengono composte o miscelate, come, in generale, nulla che sia formale è costituito dalla sua materia, ma piuttosto è vero il contrario. Infatti è ciò che si trova sotto un limite (*subliminare*) che viene costituito dalla composizione che è la sua forma, e non il contrario (*Ivi*, 1713).

Ancora sulla forma come «limite» della materia

A parte paragoni con enti artificiali come le case, che cosa poi effettivamente intenda Aristotele con il concetto di forma come intrinseco limite di un divenire della materia di un ente naturale appare da questo ulteriore testo di Tommaso di commento ad Aristotele:

> Il «limite», la «soglia»[127] (*limen*, la forma è il limite dei moti del sostrato, *N.d.R.*) è di tal fatta: consiste «nell'esser-posto-così» (della

[127]Nel passo della *Metafisica* di Aristotele commentato da Tommaso, qui si parla esplicitamente di "soglia" (οὐδός), il «limitare» definito dalla porta di casa (*Met.*, VIII,2,1042b,25-27). Ovvero, la forma è ciò che rinchiude entro dei limiti (min-max) le fluttuazioni delle quantità indotte dall'agente esterno sul sostrato individuale, e con ciò

> cosa, *N.d.R.*). E il medesimo esser posto così (di una cosa, *N.d.R.*) è il suo «essere», la propria «ragion d'essere» (*idest propria eius ratio*). E similmente l'essere del cristallo consiste nel suo accrescersi fino a un certo limite (*taliter ispissari*). (*Ivi*, VIII,ii,1694).

Tutti, per esempio, abbiamo fatto alle scuole medie l'esperimento della cristallizzazione di un fluido. Ebbene, tutti abbiamo visto come in ogni processo di cristallizzazione esiste una legge di ordine intrinseca (il cristallo è un sistema dinamicamente stabile), per cui le diverse parti del cristallo si sovrappongono in geometrie perfette fino a che questa crescita si arresta ad un limite, generalmente legato a variabili termodinamiche come densità, temperatura, pressione del fluido considerato. Ecco, questo è ciò che, intuitivamente, Aristotele intendeva per forma come limite di un insieme di modificazioni e principio di ordine intrinseco di questo insieme nel suo svilupparsi temporale. Anche se l'aver preso come esempio l'accrescimento di un cristallo, tipico esempio di sistema dinamicamente stabile, perfettamente predicibile, potrebbe di per sé risultare fuorviante per il fisico di oggi.

Essere–in–potenza della forma nella materia come essere-in-dipendenza (potenza passiva) da un agente fisico (potenza attiva)

Chiarito allora come Aristotele intenda l'essere–in–potenza della forma nella materia come essere in dipendenza (= potenza passiva) dall'azione causale (= potenza attiva) di un agente fisico, in grado di stabilizzare e dunque ordinare *parzialmente e provvisoriamente* i moti instabili di un sostrato materiale, si comprende meglio come e perché l'essenza di un qualsiasi ente fisico non possa essere immateriale, ma «sinolo», composizione inscindibile di materia–forma.

Così, una volta chiarito lo schema concettuale dell' «eduzione della forma da una materia» per l'azione di un determinato complesso di agenti fisici, compiamo l'ultimo passo per comprendere la soluzione aristotelica del problema di una fondazione causale delle essenze o «sostanze seconde».

Permanenza delle specie attraverso il succedersi degli individui

Ciò che, infatti, caratterizza le essenze o «sostanze seconde» è la loro *specificità*, ovvero il fatto d'essere comuni a molti individui o sostanze prime. Per questo, elemento caratteristico di ogni specie, innanzitutto nel mondo biologico, è la capacità di auto–mantenersi attraverso il succedersi — il «generarsi» e il «corrompersi» — degli individui appartenenti a quella specie. Platone, per spiegare questo perpetuarsi di specie incorruttibili malgrado la corruzione di soggetti materiali individuali portatori di quella specie, aveva ipotizzato che le essenze di questi soggetti appartenessero

---

stesso «*de*-termina» (le rende «termine-*di*») le quantità caratteristiche di un soggetto, facendole diventare «di *quel* soggetto». Ecco il senso di quel principio aristotelico–tomista, delucidato in lungo e in largo nel preziosissimo opuscolo filosofico di Tommaso, *De Natura Materiae et Dimensionibus Interminatis*.

come gli intellegibili della mente — anzi fossero tutt'uno con questi — ad un mondo invisibile di sostanze spirituali incorruttibili.

Spiegazione causale della stabilità delle specie, attraverso la distinzione di due livelli di causalità fisica: celeste e terrestre dove la prima esercita un controllo attivo (senza reazione o retroazione) sull'altra

Aristotele, viceversa, trova *una spiegazione causale alla stabilità delle specie*. Tale spiegazione può essere sintetizzata in una formula posta alla fine del II Libro della sua *Fisica* e resa famosa dalla sua traduzione latina: *homo generat hominem et sol* «un uomo insieme col sole genera un altro uomo». Per giustificare come mai un agente fisico *corruttibile* (un genitore umano, in quest'esempio di Aristotele) possa aver successo nel generare un suo simile e questo possa avvenire per migliaia e migliaia di generazioni successive, occorre che un ulteriore agente fisico *incorruttibile* — perché costituito da una materia diversa, semplice, non composta di elementi («d'etere», o «quint'essenza» della cosmologia antica) —, non sottoposto all'instabilità tipica dei corpi «terrestri», composti da elementi controlli, con la perfetta stabilità/predicibilità/simmetricità dei suoi moti, tutti i processi instabili, altrimenti impredicibili, di generazione/corruzione dei corpi composti da elementi.

Perché questo controllo abbia successo, occorre, ovviamente, che i moti dei corpi corruttibili non influenzino a loro volta, destabilizzandoli, i moti dei corpi incorruttibili. Questi corpi incorruttibili sono quelli che, con l'ultra–stabilità dei loro moti, agendo causalmente sul sostrato materiale in moto instabile degli elementi tramite la luce e quindi il calore, controllano i processi di eduzione (stabilizzazione) di forme nella materia e, per ciò steso di generazione dei corpi corruttibili, senza esserne da loro minimamente influenzati.

Siffatti corpi sono per Aristotele, come per la futura cosmologia tolemaica, i *corpi celesti* — le sfere concentriche, con la terra al centro, del planetario degli antichi, sfere solide, fatte di etere, perfettamente trasparenti in cui stelle e pianeti, come concentrazioni di etere, erano «infissi come chiodi in una ruota», secondo l'efficace immagine aristotelica — con i loro moti circolari, perfettamente simmetrici e dunque predicibili e calcolabili, com'era conosciuto fin dai tempi degli assiri babilonesi e della loro astronomia.

Possibile parallelo con la fondazione quantistica della stabilità dell'atomo attraverso l'azione di controllo attivo del nucleo sulla struttura degli «orbitali» atomici

Scopriremo nelle parti sistematiche di questo lavoro nel secondo volume, ed in particolare nella Terza Parte dedicata all'indagine filosofico–naturale sull'ente fisico inorganico quanto questi principi siano in continuità con quello che c'insegna la meccanica quantistica sulla struttura dei composti atomici e molecolari, come fondamento delle proprietà fisico–chimiche dei corpi che compongono l'universo fisico. Un vincolo che sarebbe ancora più forte se sarà confermata l'esistenza di instabilità dinamiche anche nei sistemi quantistici, così che la loro stabilità risulti derivata da una più radicale instabilità (Cfr. la nozione di «caos quantistico»

a p. 173). Anche per la moderna fisica quantistica come per Aristotele si trattava di trovare un fondamento fisico alle proprietà fisico–chimiche degli elementi chimici e quindi dei loro composti, i «corpi» della nostra esperienza ordinaria, qualsiasi sia la loro storia interveniente, indipendentemente dunque dalle condizioni iniziali. La «storia» di un atomo di ossigeno sulla terra e nella coda di una cometa che passa a centinaia di migliaia di chilometri dalla terra, dopo essere entrata nel sistema solare provenendo da chissà quale parte della nostra galassia, sono storie molto diverse. Eppure le proprietà fisico–chimiche dei due atomi di ossigeno sono le stesse, a cominciare dai loro *spettri discreti di emissione elettromagnetica* grazie al quale è possibile distinguere fra di loro le varie *specie* di atomi e dunque di elementi chimici (Cfr. sopra, p. 113). Perché?

Alcuni paralleli con la moderna fisica dei materiali: «il cielo» degli antichi «nel cuore» della materia

Come uno dei più prestigiosi fisici quantistici, V. F. Weisskopf (Weisskopf 1990) sintetizza, la fisica quantistica ha trasferito «il cielo» degli antichi «nel cuore» della materia. Quello che per Aristotele era l'ultrastabilità dei corpi celesti che poneva delle soglie, «tagliava» il continuo indeterminato (infinità potenziale) dei moti del sostrato materiale, ordinandolo nelle forme delle diverse specie di «sostanze seconde», non viventi e vienti, per la moderna fisica dei materiali, è l'ultrastabilità della fisica del nucleo — i cui elementi sono legati dalla foza nucleare «forte» —, rispetto alla fisica degli scambi elettronici nell'atomo e nella molecola — governati dalla più debole forza elettromagnetica. È l'ultrastabilità del nucleo che costringe entro «una buca di potenziale» i moti degli elettroni, catturandoli intorno al nucleo stesso e ordinandoli secondo le regole di quantizzazione che abbiamo precedentemente illustrate in § 2.4 (pp. 110ss.).

Fondazione causale della stabilità delle specie dei corpi, nella fisica aristotelica e in quella quantistica

Da qualunque parte dell'universo quegli elettroni e quei nuclei stabili di protoni e neutroni provengano, magari dall'esplosione di due stelle distanti milioni di anni luce l'una dall'altra, non di meno, quando s'incontrano formano lo stesso composto stabile, p.es., l'atomo di ossigeno. Il segreto di tale meraviglia che è alla base della *specificità* delle proprietà fisico–chimiche caratteristiche (= natura) dei vari tipi di materiali esistenti, inorganici ed organici, a livello di struttura dell'argomentazione, è equivalente a quello scoperto da Aristotele. Questo sebbene le due teorie, quantistica e aristotelica, si sviluppino all'interno di due fenomenologie fisiche completamente diverse e addirittura contrapposte, quali possono essere la distinzione aristotelica fra fisica celeste e fisica terrestre, di contro alla fisica moderna che, dalla legge di gravitazione in poi, ridicolizza questa distinzione.

Identità, stabilità e specificità degli atomi dei diversi elementi ed equazione di Schrödinger

La somiglianza logico–strutturale dell'argomentazione, malgrado le differenti fenomenologie, consiste nel fatto che le proprietà fisico–chimiche degli elementi chimici della tavola di Mendelejev, e dei loro composti molecolari che formano i corpi della nostra esperienza ordinaria, dipendono dalle configurazioni ondulatorie dei moti degli elettroni degli atomi degli elementi, intorno al loro rispettivo nucleo. Ora, le uniche configurazioni ammesse, secondo l'equazione di Schrödinger (Cfr. sopra p. 123), sono sempre le stesse per ciascun atomo del medesimo elemento chimico, essendo determinate unicamente dal modo in cui le onde elettroniche sono limitate dall'azione del rispettivo nucleo. Gli atomi di uno stesso elemento (p.es. di ossigeno) manifestano una fondamentale *identità di specie* perché, qualsiasi sia la loro storia passata, l'onda elettronica in tutti gli atomi di ossigeno è soggetta alle stesse limitazioni rappresentate dall'attrazione del nucleo e dalle interazioni elettriche col numero definito di elettroni che fanno parte di quell'atomo, numero di nuovo dipendente dalla struttura del nucleo.

Di qui la *stabilità specifica* tipica dell'atomo di un dato elemento, ovvero la sua capacità — impossibile ad un sistema della meccanica classica newtoniana — di riassumere la sua configurazione originaria dopo una perturbazione, perché tali configurazioni dipendono unicamente dalle condizioni in cui l'elettrone si muove, determinate dalla struttura dell'atomo, e *assolutamente indipendenti da ciò che è accaduto.* Si tratta dunque di una dipendenza dalle *condizioni attuali* e non da quelle *iniziali.* Proprio com'era nello schema teorico della giustificazione aristotelica della *stabilità delle specie,* mediante confinamento *dei moti* del sostrato elementare, grazie alla gerarchizzazione delle azioni causali su tale sostrato.

Sviluppo ed estensione della dottrina aristotelica dell'atto e della potenza in Tommaso

Quanto detto, malgrado le eccessive semplificazioni, può essere in parte sufficiente ad introdurci nei principi–guida dell'ilemorfismo aristotelico che useremo nelle parti sistematiche di sviluppo di questo nostro lavoro, soprattutto in quelle che saranno oggetto del secondo volume di esso. Soffermiamoci invece a illustrare brevemente in cosa consista lo sviluppo essenziale della teoria tomista dell'essere–come–atto rispetto ai suoi «progenitori», Platone ed Aristotele, anche a costo di far inorridire gli storici della filosofia. Fra questi due autori e Tommaso d'Aquino ci sono infatti quasi mille anni di storia della filosofia, senza i quali risulta impossibile comprendere come sia stato possibile arrivare all'Aquinate. Ma tant'è: gli scopi sistematici di questo nostro lavoro e i suoi intrinseci limiti ci impongono un tale sacrificio.

Metafisica tomista come sintesi di Platone e Aristotele

D'altra parte, per dare un minimo di credibilità anche storiografica a questo nostro procedere nel presente capitolo, sarà bene ricordare che Tommaso viveva in un'epoca in cui la recente traduzione in latino delle opere di Aristotele, quasi completamente dimenticate — con l'eccezione

delle sue opere di logica e di poetica — nell'occidente latino durante il primo millennio dell'era cristiana, obbligava lui — come qualsiasi altro filosofo e teologo dell'epoca — a integrare la metafisica e l'ontologia aristoteliche in un sostrato della cultura cristiana essenzialmente platonico. Dire dunque che Tommaso ha cercato di — meglio, è stato obbligato dalle circostanze storiche a — fare la sintesi fra Platone e Aristotele non è dunque solo una semplificazione espositiva, ma fotografa uno stato di fatto dell'epoca in cui Tommaso viveva.

## 5.5 L'essere come atto di Tommaso d'Aquino

### 5.5.1 Limiti dell'ilemorfismo

Rischio di un'interpretazione materialista e monista della metafisica aristotelica

Dal punto di vista della filosofia della natura, ovvero della metafisica dell'ente fisico, l'apporto della teoria tommasiana dell'essere come atto ha la funzione di rimuovere un'essenziale *inconsistenza* dell'ilemorfismo aristotelico, che potremmo definire il suo *difetto materialista*. Tale difetto può essere così sintetizzato: se il *fondamento dell'essere* di ciascun ente consistesse semplicemente nell'essere della sua forma edotta dalla potenzialità della materia per l'azione di altre cause agenti fisiche «terrestri» e «celesti», ogni ente diverrebbe una sorta di *accadimento*, di evento della materia.

Questa a sua volta diventerebbe una sorta di *sostanza prima unica*, dunque *universale*, che «contiene in sé» tutti gli *enti individuali* ridotti a pura «modalità» del divenire della materia stessa. Il sistema aristotelico diverrebbe così nient'altro che una proposizione *ante litteram* del sistema spinoziano e della sua idea che esista un'unica sostanza che contiene in sé, per la sua *unicità* l'attributo del *pensiero* e per la sua *potenzialità*, ridotta a pura possibilità logica, l'attributo della *materia* ridotta cartesianamente a pura estensione geometrica. Ma Aristotele non è Spinoza e questa declinazione materialista della sua teoria più che allo Stagirita si può imputare ai suoi epigoni materialisti nel pensiero ellenista, gli stoici, gli epicurei e, soprattutto, il grande commentatore aristotelico dell'antichità Alessandro di Afrodisia (II-III sec. d.C.).

Nucleo dello sviluppo tomista: spiegazione causale non solo della sostanzialità «seconda» (essenza), ma anche di quella «prima» (essere)

In ogni caso, se tanti autori sia antichi che moderni hanno fornito una declinazione essenzialmente materialista dell'ilemorfismo aristotelico, una ragione ci deve pur essere in qualche incongruenza della sua teoria, nota giustamente Tommaso. In altri termini, un punto qualificante della dottrina metafisica aristotelica consiste nell'aver distinto la sostanzialità «prima» della sussistenza, da quella «seconda» dell'essenza dando a quest'ultima una *fondazione causale*. Tommaso completa l'opera trovando

*una necessaria fondazione causale anche alla sostanzialità «prima», della sussistenza* degli enti fisici individuali, rimovendo così il pregiudizio, altrimenti inevitabile, che l'unica entità sussistente cui si riduce la sostanzialità prima di *tutti* gli enti fisici sia la *materia comune.*

Atto–potenza applicato a forma-materia spiega causalmente le essenze ma non l'esistenza delle sostanze prime.

D'altra parte, nota giustamente Tommaso, il principio dell'atto e della potenza applicato esclusivamente a forma e materia riesce a fondare l'essere delle «essenze» ed in particolare le essenze specifiche comuni a più enti. Tale principio però non fonda l'esistenza delle «sostanze» (prime) — e degli accidenti che ineriscono ad esse. Insomma, con atto e potenza applicati solo a forma e materia si riesce a giustificare perché gli enti sono *diversi,* ma non perché sono *enti*, perché esistono e, soprattutto, perché alcuni di essi *sussistono* come individui, come sostanza prime.

Aristotele ha fatto sì fare un passo enorme al pensiero metafisico individuando il τόδε τι, il sostrato esistenziale delle essenze come distinto dalle essenze stesse. Con le essenze e la loro spiegazione causale mediante atto–potenza applicato a forma–materia si può spiegare causalmente le *diversità.* Ma la diversità è sempre e solo di qualcosa che esiste in sé, di un sostrato sussistente delle differenze.

Normalmente il materialismo — molto diffuso nel senso comune — è portato ad affermare che è la materia ad essere il soggetto metafisico delle diversità. Ma ciò implicherebbe che le forme, il principio delle diversità, non sono edotte dalla materia e, in ogni caso, nell'ilemorfismo aristotelico, ciò entrerebbe in contraddizione col resto della sua teoria, col fatto cioè che la materia non è *sussistente,* ma ciò che rende possibile la trasformazione di ciò che sussiste come corpo fisico.

Se fosse la materia il «ciò che esiste *in sé*» cui si possono attribuire le differenze, le diverse proprietà, allora il sistema aristotelico cadrebbe in un'insanabile antinomia. Infatti, non si potrebbero spiegare causalmente le differenze stesse mediante atto e potenza perché se la materia sussistesse come un sostrato «primo», sarebbe un ente in atto e non più in potenza. Esisterebbe insomma, una sola sostanza «prima» o soggetto di tutte le proprietà, la materia, e tutti gli enti fisici (cani, gatti, uomini, etc.) sarebbero solo degli accidenti, degli accadimenti dell'unica materia–sostanza universale, unico sostrato, unico soggetto metafisico di tutte le proprietà, di tutti gli accidenti.

Se riduciamo la sostanzialità prima degli enti alla sola materia prima, essa non sarebbe più pura potenza e la stessa spiegazione aristotelica delle forme sarebbe vanificata

In tal modo, non solo verrebbe meno la geniale distinzione aristotelica fra sostanze «prime» e «seconde», ma, più in generale, verrebbe meno sia la fondazione metafisica dell'individualità degli enti sussistenti, sia ogni fondazione reale, ontologica e non solo epistemologica alle differenze qualitative fra gli enti. Esse non possono avere la fondazione metafisica che Platone pensava di dare loro. Ma, se facciamo della materia una sostanza «prima», un *id quod* e non un *id quo,* le forme non avrebbero neanche la fondazione metafisica che Aristotele è riuscito a dar loro. Si tornerebbe dunque a Democrito, alla riduzione della «qualità» alla pura «quantità». In effetti, con l'abbandono della filosofia della natura aristotelica con la nascita della fisica moderna questa è stata la strada che la filosofia della natura moderna ha percorso col suo determinismo atomista e meccanicista. Finché esisteva l'illusione dell'integrabilità dei sistemi dinamici e quindi la possibilità di sostituire al determinismo causale aristotelico quello geometrico meccanicista (antecedente → susseguente temporali *a posteriori* + legge logica *a priori* che garantisce la necessità della relazione), questa strada percorsa dalla filosofia della natura moderna aveva una sua credibilità, che è la ragione del suo successo per quasi quattro secoli. Ma oggi, come sappiamo, non è più così (Cfr. § 2.7.2, pp. 162ss.): per la filosofia della natura e della scienza post-moderne occorre ripercorrere strade credute abbandonate per sempre.

## 5.5.2 Partecipazione dell'essere

Dalla partecipazione delle forme platonica, alla partecipazione dell'essere come atto di Tommaso

In ogni caso, questo del difetto materialista appena evidenziato è la critica che Tommaso fece ad Aristotele (Cfr. Tommaso d'Aq., *S.c.Gent.,* II, xvi,932-935). In sintesi, afferma Tommaso, l'essere di un ente non può ridursi al semplice essere–in–atto di una forma in una data materia a opera di cause agenti materiali, la cui esistenza e la cui azione causale hanno da essere a loro volta giustificate. Se è vero che la dottrina platonica della derivazione della materia per «partecipazione» dalla forma è esposta a quelle gravi inconsistenze che Aristotele per primo ha rivelato, non meno esposta a inconsistenze appare la dottrina aristotelica. Proprio per rimuovere tali inconsistenze, nella metafisica dei due massimi filosofi dell'antichità greca, Tommaso ha elaborato la sua dottrina dell'essere come atto e della sua partecipazione ai singoli enti nella misura della loro essenza, dottrina che ambisce così a porsi come sintesi di ordine superiore della metafisica platonica ed aristotelica.

Spiegazione causale delle essenze fa sì che le proprietà di un corpo risultino altrettante *passiones*, effetti di causalità agenti

Cominciamo dalla metafisica aristotelica dell'atto e della potenza applicati esclusivamente a materia e forma, mediante cui Aristotele fornisce una spiegazione causale dell'essenza (natura) degli enti fisici. È chiaro che il concorso causale (attivo) di *cause agenti*, enti fisici già esistenti ed in grado di esercitare un azione causale, sul sostrato materiale (passivo) instabile che è alla base di tutti i processi fisici, è in grado di giustificare l'essere dell'essenza di determinati enti fisici. È in grado di giustificare quell'insieme di proprietà che caratterizzano la *natura* di un determinato ente fisico: senza quel determinato concorso causale, quella specie di enti non *potrebbe* esistere P.es., si pensi in bio–fisica, alla «nicchia ecologica» costituita dall'insieme di cause ambientali che rende possibile l'esistenza di una certa specie di animali o di piante. Esse, laddove non fossero ancora possibili e/o venissero a mancare, determinerebbero *l'impossibilità* di esistere di una certa specie biologica. Oppure, per fare un esempio tolto dalle scienze fisiche, si pensi in fisica quantistica ai cosiddetti «diagrammi di Feynman», ciascuna particella quantistica esiste come nodo di un particolare insieme di interazioni con altre particelle.

In tal modo la stessa «natura» intrinseca di un ente è un principio passivo di una particolare relazione causale

Per questa ragione, Tommaso generalmente definiva *passiones*, quindi termine passivo di una relazione causale, «de proprietà» di un dato soggetto e, in un passo che abbiamo citato in precedenza a proposito della critica newtoniana ad un certo aristotelismo neo–platonico in voga nel tardo Rinascimento, Tommaso considerava «ridicoli» certi pseudo-aristotelici. Quelli che, anche ai tempi di Tommaso, pretendevano interpretare la nozione di «natura» o «essenza» di un corpo come un «principio attivo», come una «sorgente di forze occulte» che spiegherebbero le interazioni fisico–chimiche tipiche di un certo tipo di elemento chimico rispetto ad un altro (Cfr. testo citato alla nota 40 di p.100). Viceversa nel resto del testo succitato Tommaso definisce la natura specifica di un corpo un *principio passivo* (*In Phys*., II, i, 144), ovvero disposizione di un certo sostrato materiale a subire un certo tipo di azione causale da parte di altri enti fisici che determinano la sua esistenza e le sue proprietà specifiche. Come una specie biologica nella sua nicchia ecologica o una particella quantistica nel suo diagramma di Feynman, la natura specifica di un ente nel mondo fisico è il risultato di un insieme caratteristico di interazioni causali stabili con l'ambiente circostante.

Ma proprio per questo, le essenze o nature dei corpi, risultano essere altrettante potenzialità rispetto all'attualità dell'esistere dei rispettivi corpi

L'evidenziazione mediante il mio corsivo dei termini che indicano «potenzialità» serve a porre in risalto il cuore dell'intuizione tomista: la geniale spiegazione causale aristotelica delle essenze, giustifica l'essere delle specie, delle sostanze «seconde» all'interno del cosmo materiale, senza inutili «iperurani» platonici. Ma siffatte essenze o «*modi* di esistere» sono pur sempre «*possibilità* di esistere», sono *potenza*, rispetto all'esistenza concreta di un soggetto metafisico individuale, di un τόδε τι, di una sostanza

«prima» concreta portatrice *in atto* di quell'essenza. Per limitarci all'esempio della «nicchia ecologica» reso famoso nel mondo da un recente film di successo (*Jurassic Park* di S. Spielberg), un conto è la ricostituzione della nicchia ecologica di una determinata specie biologica nei suoi diversi fattori causali, non ultima la disponibilità dell'appropriato corredo genetico nei filamenti del DNA tipico di quella determinata specie, magari estinta da milioni di anni — p.es., i dinosauri, nel film in questione. Un conto è riuscire a far esistere alcuni esemplari di dinosauro. Per far questo, occorrerà realizzare una fecondazione *in vitro* fra gameti di dinosauro ed una gestazione artificiale dell'embrione risultante. In altri termini, com'è necessaria una spiegazione causale dell'*essere dell'essenza* di una determinata sostanza «seconda» o specie di enti, così è necessaria una spiegazione causale dell'*essere dell'esistenza* delle sostanze «prime», degli individui concreti portatori di quell'essenza., di uno o più individui portatori di quell'essenza, realizzatori in concreto, *in atto,* di quella «possibilità di esistere così», con certe determinate caratteristiche, che definiamo *essenza specifica* di una determinata collezione di enti.

Fondamentale distinzione nell'essere fra esistenza o essere comune e modalità di esistere o essenza

Con ciò Tommaso introduce rispetto ad Aristotele un modo nuovo di interpretare una fondamentale distinzione metafisica:

- Un conto è *l'esistere* comune a tutti gli enti (*esse commune* o *esse ipsum* «essere stesso»).
- Un conto è la *modalità di esistere* o *essere dell'essenza* (*entitas,* «entità») specifica propria di ciascuna specie di enti ed, al limite, di ciascun individuo.

Essere ed essenza si relazionano come atto-potenza

L'essere di un ente dunque si distingue in *essere dell'esistenza* (essere comune o essere stesso) e *essere dell'essenza* (entità). L'*essere–come–atto* che «include» ambedue sarà dunque partecipato ad ogni ente secondo la misura della sua essenza, determinando che quell'ente *esista* ed *esista così,* come una particolare *entità,* con certe proprietà essenziali ed accidentali. «Essere» ed «essenza» così caratterizzati si relazionano reciprocamente come *atto* e *potenza,* analogamente a come per Aristotele si relazionavano *forma* e *materia* nella costituzione della sola «essenza» degli enti materiali.

Nelle sostanze composte di materia e forma, vi è una *duplice composizione* di atto e di potenza. La prima è della stessa sostanza (= seconda, *N.d.R.*) in quanto costituita di materia e forma; la seconda in quanto costituita dalla *sostanza già composta* (= essenza come *potenza, N.d.R.*) e dall'*essere* (= essere come *atto, N.d.R.*) (Tommaso d'Aq., *S. c. Gent.,* II, 54, 1295).

Essere ed essenza distinti e complementari e quindi richiedono due distinti e complementari ordini causali di spiegazione

Insieme *essere* ed *essenza* costituiscono i principi attuale e potenziale dell'*essere in assoluto* (dell'entità e dell'esistenza) di ciascun ente. Sono *realmente distinti fra di loro* proprio perché relativi a due distinti livelli — rispettivamente *metafisico* e *fisico* — dell'unica eppure complessa *relazione causale* da cui l'esistenza di ciascun ente del mondo fisico dipende. Come infatti l'essere–atto della forma, propria della natura di una certa specie di enti, rimanda ad un'azione causale comune a tutti gli individui di una medesima specie, così l'essere–atto dello stesso esistere *comune a tutti gli enti* (*esse commune*) rimanda ad un'azione causale *metafisica, unica, universale* per tutti gli enti che compongono l'universo e che esercitano fra di loro azioni causali fisiche. Nessun ente può causare se *prima* non esiste

> Ciò che a qualcosa appartiene come atto dipende dall'azione di un agente. È proprio di un agente infatti realizzare *attualmente* qualcosa. (…) Per questo le medesime sostanze in quanto causate sono qualcosa che hanno l'essere da qualcos'altro. Il medesimo essere appartiene alle sostanze come un qualche loro atto. Ora ciò a cui l'atto appartiene è potenza: infatti ogni atto in quanto tale si relaziona ad una potenza. Quindi in ogni sostanza naturale vi è sia la potenza (= essenza) sia l'atto (= essere) (Tommaso d'Aq., *S. c. Gent.*, II, 54, 1284).

Co–appartenenza soggeto–predicato nelle proposizioni analitiche in metalogica si fonda sulla coappartenenza essere–essenza in metafisica

Come si vede, siamo qui di fronte anche alla soluzione tomista del problema ontologico ed epistemologico fondamentale del pensiero moderno: la fondazione ontologica della necessità logica ed in particolare la fondazione di quella co–appartenenza o reciproca implicazione soggetto–predicato cui termina la procedura analitica, induttiva dell'*inventio medii* sillogistica (Cfr. § 4.5.2, pp. 295ss.). Tale appartenenza necessaria di certi predicati ad un soggetto logico, si fonda sull'appartenenza necessaria di certe proprietà ad un soggetto metafisico (sostanza) e questa a sua volta si fonda sul fatto che e le une e l'altro sono il risultato dell'unica eppur complessa «azione» causale, nei suoi due livelli, rispettivamente *fisica* (per le proprietà) e *metafisica* (per la sostanza e le proprietà) che fanno *esistere* quell'ente e lo fanno esistere *così*, come una particolare *entità*.

Necessità di un duplice e complementare livello causale di spiegazione dell'essere e dell'essenza evidente dalla contingenza

Come intendere allora la duplicità di struttura di quest'azione causale, intesa come duplice livello fisico e metafisico dell'unica relazione causale per mezzo della quale ogni ente viene all'esistenza con certe proprietà? Effettivamente, ad uno sguardo superficiale, non sembra che ci sia bisogno di distinguere questo duplice livello. Perché un ente venga all'esistenza e venga all'esistenza con certe determinate caratteristiche, con una certa essenza, la causalità fisica sembra più che sufficiente. La necessità di supporre, come includente questo livello *fisico* della causalità, un ulteriore livello *metafisico*, che fondi e renda ontologicamente possibile il primo, diviene immediatamente evidente, non appena si rifletta sulla

*contingenza* che caratterizza l'esistenza dell'ente fisico, ed insieme sulla *necessità* che deve caratterizzare il concorso causale che rende possibile la sua esistenza.

L'esistenza e l'essenza di ogni ente dipende dal concorso di cause per sé necessarie, ma in sé contingenti e dal loro ordinamento

Tutti gli enti che compongono l'universo, l'uomo compreso, sono *contingenti*, ovvero non si danno l'essere da soli, ma, evidentemente hanno bisogno di un concorso di cause *necessarie e sufficienti* a farli esistere e a farli esistere con quelle determinate caratteristiche. Infatti, per esistere, tutti gli enti fisici, siano esse «sostanze» o «accidenti», enti naturali o artificiali, hanno bisogno per esistere:

- di un insieme di cause, ovvero di enti che già esistono e che li facciano esistere
- di un ordinamento spazio-temporale di queste cause. Ovvero, gli enti per esistere con la loro tipica modalità di essere (essenza) hanno bisogno che queste cause interagiscano secondo un determinato ordine e dunque non siano impedite, dal concorso causale di altri enti a causare un determinato ente.

Essere contingente significa che non ha l'essere da se stesso, per cui potrebbe esserlo anche un ente eterno o sempiterno, materiale o spirituale che fosse

Ogni ente che per esistere ha bisogno *necessariamente* di essere causato da altri enti che possono essere impediti ad agire o da se stessi (nel caso che queste cause siano enti dotati di libertà come nel caso degli enti umani) o da altro da sé (come per tutti gli enti fisici che entrino nel concorso causale che determina l'esistenza di altri enti) sarà un ente *contingente*, ovvero un ente che *non ha l'essere (essenza ed esistenza) necessariamente*, perché *non lo ha da se stesso*. Ciò significa che possono essere contingenti anche enti che, al limite, fossero eterni in *tutte e due* o *solo in una direzione soltanto* (sempiterni o immortali) della *freccia del tempo*[128]. Ora, siccome questo stesso schema esplicativo dell'esistenza di ogni ente che appartiene al mondo fisico vale evidentemente anche per le sue cause che saranno enti causanti, ma a loro volta necessariamente causati perché non hanno l'essere da se stessi, è ovvio che in tal modo l'essere di ciascun ente e l'essere di tutti gli enti che componevano, compongono e comporranno l'universo non sarà mai giustificato con una giustificazione *ultima*, definitiva, se non si suppone una *causalità prima* che «dal di fuori» dia consistenza al grafico di queste relazioni e a ciascuno dei suoi nodi .

A maggior ragione ciò vale per enti con un'esistenza temporale finita

Il concorso causale di un insieme di cause fisiche, sebbene *necessario* a giustificare l'esistenza in una certa localizzazione *spazio-temporale dell'universo* di un certo ente con la sua essenza (p.es. l'esistenza «qui ed

---

[128] Nella cosmologia tomista erano sempiterni sia enti fisici (p.es., i corpi celesti) che enti spirituali come angeli e anime umane. Ma nella sua metafisica, di per sé, esiste la possibilità che lo stesso universo possa essere eterno, pur rimanendo *contingente*, bisognoso di una giustificazione causale della sua esistenza.

ora» di una lucertola), o la non-esistenza in una certa localizzazione *spazio-temporale* di un altro ente con un'altra essenza incompatibile con quel concorso causale (p.es. la non-esistenza «qui ed ora» di un dinosauro), non è *sufficiente* a giustificare *in assoluto* l'essere di nessun ente fra quelli che per esistere hanno bisogno di essere causati.

Concorso di cause fisiche sufficiente a giustificare solo la localizzazione spazio-temporale dell'esistenza

Viceversa, il concorso causale di *cause fisiche* è sufficiente a giustificare che *esistano in una certa localizzazione spazio-temporale enti fisici di un certo tipo*, con una certa essenza e non con un'altra, ma da sole non riescono a giustificare completamente l'esistenza né degli enti che sono l'effetto di un determinata catena causale, né degli enti che compongono l'intera catena causale stessa, né tantomeno dell'ordinamento che caratterizza la catena. Anche quando chiudessi la catena in un «circolo», secondo la nozione greco–pagana dell'eternità del cosmo o del succedersi indefinito dei «mondi» — nozione che, come vedremo, nel prossimo capitolo è compatibile con quella metafisica tomista di partecipazione dell'essere, anche se non quella teologica cristiana di creazione (Cfr. § 6.3.3.2 pp. 464ss.) — una volta ammesso il principio di contingenza, non rende meno necessaria l'esigenza di un «causante–non–causato» che dia consistenza metafisica alla catena e a ciascun anello di essa, sia la catena «aperta» o «chiusa», «finita» o «infinita»[129].

La spiegazione aristotelica non giustifica la sostanzialità prima degli enti

Questo intendeva dire Tommaso quando rimproverava ad Aristotele che la sua spiegazione causale delle essenze (sostanze seconde), mediante atto e potenza ridotte alla sola forma e materia, non riusciva a giustificare la sostanzialità prima il τόδε τι della soggettività metafisica, del sostrato individuale degli enti che compongono l'insieme ordinato di cause «causanti» ed insieme a loro volta «causate» che compongono l'universo fisico.

Limite analogo a quello dell'ontologia neo–positivista: l'essere di un ente si riduce al solo «essere–qualcosa», essere dell'essenza, ma non dell'esistenza

Si ripropone cioè, sul piano metafisico, lo stesso limite che sul piano logico abbiamo incontrato nell'ontologia del neo–positivismo logico riguardo a ciò che Quine definisce, molto appropriatamente, «imperscrutabilità della referenza». Anche in quell'approccio, come in ogni approccio «formalista» all'essere, antico e moderno, c'è il problema insolubile di giustificare l'esistenza, l'essere in assoluto, dell'ente. L'enunciato «*x* esiste» per un qualsiasi oggetto può essere interpretato in quell'ontologia

---

[129] Banalmente, se in una catena di persone che si passano l'acqua nei secchi come nello spegnimento di un incendio, mi domandassi perché l'acqua è nel secchio *n* al tempo *t*, certamente è corretto dire «è in *n* al tempo *t* perché al tempo *t*-1» era nel secchio *n*-1. E, se per gioco, la catena si chiudesse su di sé, tale tipo di spiegazione sarebbe valida indefinitamente. Non di meno, nell'un caso come nell'altro, resta indispensabile che, perché esista acqua nei secchi, da qualche parte ed in qualche modo, l'acqua sia stata attinta da una fontana, da qualcosa che ha *l'acqua da se stesso e non da altro da sé*, anche se, nel caso della catena chiusa, è perfettamente equivalente che ciò sia avvenuto in qualsiasi *n* ed a qualsiasi *t*.

solo nei termini di una definizione di essenza (appartenenza di classe), come se quell'enunciato fosse ridotto all'altro: «*x* è *y*» (Cfr. § 4.3, pp. 257ss.). In tal modo, però, si rimanda all'infinito la giustificazione dell'esistenza di alcunché. Ma, amava ripetere giustamente Tommaso, non si può andare all'infinito nelle cause «essenziali». L'universo, nel suo insieme, può essere sia finito che infinito, eterno o solo sempiterno (con un inizio). Ma essendo fatto di enti contingenti, di enti che non si danno l'essere da soli perché sia la loro essenza, che la loro esistenza dipende da un concorso causale, occorre «chiudere» il sistema delle cause che, altrimenti, manca di consistenza metafisica, sia nel suo insieme, sia in ciascuno dei nodi–enti delle relazioni causali (Cfr. Figura 5-2)

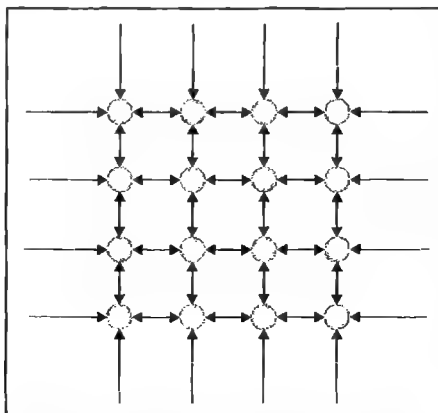



Figura 5-2. Schema del reticolo causale di enti contingenti secondo lo schema aristotelico cui manca consistenza metafisica, sia nel suo insieme (linee causali sfumate agli estremi), sia in ciascuno dei nodi–enti (mancanza di definizione del contenuto di ciascun cerchietto).

La rete causale di causati–causanti contingenti ha bisogno di una causa causante non–causata che dia consistenza all'insieme e a ciascun nodo

In altri termini, un certo insieme di cause fisiche *per sé necessarie* all'esistenza di un certo ente, in quanto sono enti *in sé contingenti* non possono fornire la giustificazione ultima dell'esistenza di quell'ente. Tutto l'insieme ordinato degli enti contingenti causati-causanti, il cosiddetto «cosmo», ha così bisogno per essere metafisicamente consistente di una comune dipendenza, in ciascuno dei nodi (enti) della rete di relazioni causali, da un *Essere Sussistente*, ovvero da una Causa Prima Universale non causata[130] *trascendente* il cosmo degli enti contingenti che, *indipenden-*

[130]Tutti gli enti contingenti che sono necessari a causare l'esistenza di un dato ente saranno quindi definiti rispetto alla Causa Prima come altrettante «cause seconde». È chiaro che, per evitare confusioni, fra nozioni quali «Causa Prima» e «cause seconde», da una parte, e «cause prossime» e «cause ultime» dall'altra, basta tener presente quella relazione inversa che esiste fra ordine ontologico (dell'essere) e ordine epistemologico (del conoscere) che esamineremo fra poco (Cfr. 6.2.1, pp. 416ss.). Quelle cause che rispetto alle

*temente dal tempo, partecipa* e *conserva* l'essere a ciascuno di essi e al loro insieme causalmente ordinato sul piano fisico *immanente* (Cfr. Figura 5-3).

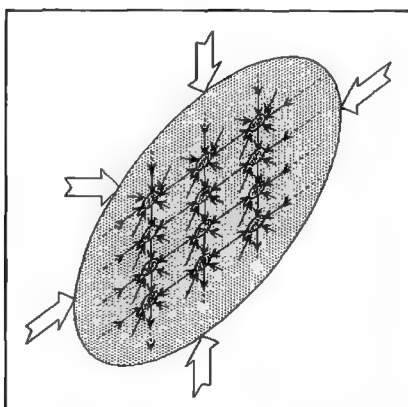



Figura 5-3. Schema della inter-relazione fra Causa Prima Metafisica (frecce grandi), fuori dell'universo spazio-temporale (cerchio grande chiaro), e cause seconde fisiche (frecce piccole) dentro tale universo che concorrono a determinare – su un livello causale diverso dalla Causa Prima, come si simbolizza nel disegno col fatto che le cause seconde sono su due dimensioni, la Causa Prima su tre dimensioni – l'esistenza (il contenuto) e l'essenza (il contorno) dell'essere dei singoli enti (cerchi piccoli più scuri). L'essere di ogni ente, essenza ed essere, entità ed esistenza consiste dunque nel risultato del concorso causale di Causa Prima e cause seconde, dell'Essere Sussistente e degli altri enti fisici.

Proprium di Tommaso rispetto a Platone e Aristotele, Kant e Husserl

In questo modo, si comprende il nucleo essenziale della dottrina metafisica tomista dell'*essere come atto,* sia rispetto ai due «campioni» del trascendentalismo della filosofia moderna, Kant e Husserl, sia rispetto ai due «campioni» della filosofia classica, Platone e Aristotele.

Rispetto al trascendentalismo l'essere non è formalista, ma contenutistico (*versus* Kant).

- Innanzitutto, si comprende in che senso la dottrina tomista dell'essere sia una dottrina contenutistica, intensiva (Cfr. § 4.5.2, pp. 295ss.) e non formalista, estensiva dell'essere (Cfr. § 4.5.1, pp. 290ss.), come nel trascendentalismo kantiano. L'esistenza non è estrinseca all'essenza, ma la include come la superficie di una figura include i suoi contorni, sebbene sia delimitata da essi (duplice e complementare determinazione essere–essenza). L'esistenza, *ontolo-*

varie scienze possono essere definite come «cause prossime» dell'essere e dell'agire di un certo ente, saranno, rispetto alla costituzione metafisica di questo ente, le sue «cause seconde». Viceversa, quella che, nella costituzione ontologica del singolo ente può essere definita come la «Causa Prima» di quell'ente è, rispetto all'ordine epistemologico delle varie scienze, l'«ultima causa» in cui si risolve l'indagine metafisica.

*gicamente*, non è certo un'ulteriore proprietà del soggetto di cui si afferma, ma è ciò che dà una consistenza all'insieme delle sue proprietà. L'essere dell'esistere, *logicamente*, non è dunque un predicato qualsiasi perché è un meta–predicato che ha per argomento qualsiasi altra attribuzione predicativa (proposizione) possa essere validamente costruita fra un soggetto e un predicato.

Il contenuto non dipende da un'intuizione trascendentale, ma di un reticolo causale atto–potenza su due livelli complementari immanente e trascendente (*versus* Husserl).

- Al medesimo tempo, l'essere è dotato di contenuto, è essere intensivo, come amava definirlo Cornelio Fabro (Fabro 1961), non perché oggetto di intuizione trascendentale, d'intuizione eidetica, da parte di un qualche «io fenomenologico» trans–individuale, come nel trascendentalismo della fenomenologia husserliana. È essere intensivo perché inserito in uno schematismo causale atto–potenza, assolutamente diverso dallo schematismo temporale humiano-kantiano (qui il tempo non entra per nulla: la causalità trascendente è simultanea a ogni istante di tempo), in cui due distinti livelli di causalità — trascendentale e categoriale, metafisico e fisico — si intersecano senza confusioni, ciascuno autonomo nel suo ordine.

La relazione causale atto–potenza rispetto ad essere–essenza è definita *partecipazione* dell'essere

A questo particolare schema di relazione causale atto–potenza Tommaso ha attribuito il nome platonico di partecipazione, ma non della «forma come atto» (*forma ut actus*) rispetto alla materia, bensì dell' «essere come atto» (*esse ut actus*) rispetto all'essenza, rispetto alla forma e alla materia. Rispetto a quel reticolo di relazioni atto–potenza che Aristotele ci ha insegnato a considerare come relazioni causali di enti già «in atto» che, nel tempo, agiscono sulla potenzialità della materia «educendone» forme che, per la loro unicità, «qualificano» i nuovi enti, che così vengono all'esistenza con essenze proprie, la partecipazione metafisica è ciò che, dal di fuori del tempo, simultaneamente ad ogni istante di tempo entro l'universo materiale, dà consistenza ontologica «ultima» all'intero reticolo e a ciascun nodo e relazione di esso.

Rispetto ad Aristotele e Platone, Tommaso dà consistenza alla fondazione causale aristotelica delle essenze ed alla dottrina platonica della partecipazione spostandola dalle forme all'essere

Rispetto ai due massimi esponenti della metafisica classica, Platone ed Aristotele, si comprende come la reinterpretazione tomista della dottrina aristotelica dell'atto e della potenza, sia in grado innanzitutto di dare consistenza alla geniale fondazione causale delle essenze di Aristotele. Ma sia in grado anche di rimuovere l'intrinseca contraddittorietà della dottrina platonica della partecipazione. «Forma» e «materia» non possono essere posti in relazione di «partecipato», «partecipante», come Platone pretendeva. L'una è il complementare dell'altra: non possono dunque derivare l'una dall'altra, ma ambedue derivano da qualcosa di cui ciascuna delle due partecipa. Ora, una cosa sola esse hanno essenzialmente in comune, sebbene ciascuna ne partecipi in gradi e modalità diverse (essere in potenza e essere in atto): l'esistere, l'*esse commune* ad ogni ente. Ecco

allora la soluzione tomista dell'aporia fondamentale della filosofia greca classica. Ciò a cui si partecipa da parte di ogni ente è l'essere. Non è la forma dell'Unità Suprema, come pretendeva Platone, ma è l'essere dell'Atto Puro Sussistente, l'Unico in cui essenza ed essere coincidono, così da fondare la loro distinzione e complementarietà in tutti gli altri enti in cui esse non coincidono. È l'Atto Puro, l'Unico Principio fontale dell'essere di tutta la materia da cui tutte le forme che diversificano gli enti fisici hanno origine come atti–relativi–a–potenza[131] dall'Atto Assoluto, Assolutamente Semplice e Attualmente Infinito rispetto a qualsiasi determinazione, così da risultare del tutto ineffabile.

Conseguenze per l'attuale cosmologia evolutiva

Per una filosofia della natura adeguata all'attuale grado di sviluppo delle scienze fisiche e cosmologiche, due sono le conseguenze particolarmente utili di una siffatta metafisica dell'atto e della potenza estese, da forma–materia al dittico essêre–essenza:

1. Possibilità di una fondazione metafisica del cosmo e della sua evoluzione indipendentemente da questioni temporali sull'inizio assoluto o meno dell'universo

♦ *Dal punto di vista dell'attuale cosmologia evolutiva*[132], la teoria offre una fondazione metafisica consistente col fatto che è la stessa materia (massa–energia) nelle sue attuali caratteristiche (conservazione, distribuzione, struttura, costanti fisiche universali, etc.) ad aver bisogno di un'adeguata fondazione causale, sebbene risulti di principio impossibile che tale fondazione causale possa seguire il semplicistico schema moderno humiano–kantiano predecessore–successore + legame logico necessitante. È di principio impossibile infatti risalire univocamente, dallo stato attuale, alle condizioni iniziali dell'universo. I principi della relatività generale non valgono, infatti, nell'infinitamente piccolo e dunque non valgono per definire le condizioni iniziali dell'universo stesso in prossimità del big-bang, analogamente a come, nei sistemi instabili, è impossibile risalire univocamente alle condizioni iniziali (Cfr. § 2.7.2, pp. 162ss.). Per giustificare metafisicamente in maniera consistente l'essere e lo sviluppo dell'universo — anche e soprattutto nella supposizione che esso sia eterno, come vedremo — lo schematismo causale humiano–kantiano è assolutamente inadeguato.
Ma, a quel livello ultimo dove si richiede una fondazione dello stesso «essere e divenire della materia», anche lo schema aristotelico dell'atto–potenza/forma–materia, così fecondo per una filosofia

[131] Per questa loro attualità solo *relativa* esse sono limitate, differenziate e in qualche modo *de*–finibili anche se attualmente infinite rispetto a qualche loro proprietà — si pensi, p.es., all'attualità infinita delle forme numeriche rispetto all'incrementabilità.
[132] Non «evoluzion*ista*». «L'evoluzion*ismo*» e la sua antitesi dialettica «il creazion*ismo*», come tutti gli «–ismi» contrapposti e reciprocamente alternativi (e la dialettica hegeliana che li formalizza), appartengono all'età delle ideologie o «visioni del mondo», all'età moderna da cui ci stiamo faticosamente affrancando.

della natura dei sistemi instabili ordinari (Cfr. § 6.3.2 pp.431ss.), effettivamente non basta più ed occorre cercare altrove, in Tommaso, una teoria metafisica più articolata, ricca e comprensiva (Cfr. § 6.3.3, pp. 457ss.).

2. Spiegazione dell'esistenza virtuale degli elementi all'interno di molecole e atomi, dando una spiegazione all'unità sostanziale dei corpi

- *Dal punto di vista dell'unità sostanziale dei corpi.* La distinzione metafisica atto–potenza applicata ad essere–essenza e, più precisamente al dittico esistenza–entità (Cfr. § 6.2.2, pp. 422ss.) ha anche un'altra preziosa applicazione nella filosofia della natura contemporanea. Quella mirata a spiegare una delle dottrine più utili, ma allo steso tempo più confuse della filosofia dalla natura medievale della scolastica d'ispirazione aristotelica. La dottrina *dell'esistenza virtuale degli elementi* nel composto fisico stabile — p.es., degli atomi nella molecola, degli elettroni e nucleoni nell'atomo, dei quark nei nucleoni (protoni e neutroni), etc. —, delle unità nel numero, dei punti nel continuo in matematica[133] e, più generalmente, delle «parti» nel «tutto» in metalogica e metafisica. Senza la dottrina tomista della differenza reale essere–essenza e dell'essere come atto, diviene impossibile giustificare diversi gradi di esistenza virtuali e attuali dell'essere degli elementi nel composto, come dottrina distinta da quella aristotelica dell'esistenza potenziale, indistinta, della forma nella materia. Anzi, senza l'estensione tomista, il concetto medievale di esistenza virtuale degli elementi nel composto in fisica, delle parti nel tutto in logica, dei punti nel continuo, etc. è finita per risultare del tutto inconsistente anche a studiosi profondi e informati del pensiero medievale quale Anneliese Meier (Meier 1984). Gli elementi nel composto o le unità nel numero o i sottoinsiemi negli insiemi esistono in modo tutt'altro che «indistinto» come le forme nella materia!

[133] Una dottrina che potrebbe essere di estrema utilità anche nella fondazione della matematica, come Cantor per primo si accorse (Hallett 1984, 119-146). Per evitare le antinomie, infatti, invece degli assiomi di esistenza di totalità non costruibili, come l'assioma dell'insieme–potenza o quello del «buon ordinamento», per limitare gli insiemi (classi) costruibili, si potrebbe far ricorso ad un unico assioma dei gradi di esistenza che giustifichi la nozione di esistenza virtuale, p.es., delle unità nel numero. Ma, come Cantor amaramente si accorse, senza la dottrina dell'esistenza virtuale applicata non alla virtualità della «forma» delle parti, ma dell'«essere» delle parti nella totalità, mantenendo le forme nella loro piena attualità, tutti gli insiemi numerici «collassano» alla cardinalità unitaria e diventa impossibile una fondazione insiemistica dei numeri senza l'assioma del buon ordinamento, rendendo del tutto inutile la teoria dell'esistenza virtuale delle parti (Cfr. Hallett 1984, 119-184; e Basti & Perrone 1996, 224-241).

Virtualità non della forma, ma dell'essere della parte rispetto alla totalità cui appartiene

Senza la dottrina tomista, l'esistenza virtuale degli elementi nel composto viene, infatti, interpretata come esistenza virtuale della forma degli elementi rispetto all'attualità della forma del composto. In questo modo, in fisica, per esempio, si rende la dottrina dell'esistenza virtuale degli elementi, in contrasto con l'evidenza sperimentale. Gli atomi sono tutt'altro che «indistinti» nella molecola o i quark nel protone o nel neutrone, come sono invece indistinti gli stati finali nelle condizioni iniziali della dinamica di un sistema instabile, ovvero come sono indistinte le forme nella potenzialità della materia aristotelica. Infatti gli elementi di un composto fisico possono essere opportunamente rivelati ed estratti dai loro rispettivi sistemi di appartenenza. Ma, se le parti sono distinte nel tutto, vuol dire che le loro forme sono in atto, altrimenti le parti non sarebbero distinte e la totalità sarebbe *omogenea*. Ciò che è virtuale nella «parte» rispetto al «tutto», lo ripetiamo, non è l'atto della forma, ma l'atto dell'essere della parte, il suo grado di «esistenza». Ed infatti nell'essere esistono, per via delle differenze di essenza, una molteplicità di gradazioni fra il minimo della partecipazione all'essere (= la potenzialità «pura» della materia prima) e il massimo di ciò che viene partecipato (= l'attualità «pura» dell'Essere Sussistente). Le parti dunque sono distinte nel tutto e le loro forme completamente in atto, per questo le parti possono essere «ri–estratte» dalla totalità, quando essa viene distrutta (p.es., in chimica, si pensi all'elettrolisi dell'acqua).

Le parti in quanto componenti di un ente la cui essenza è per definizione più complessa partecipano dell'essere in maniera minore, quindi la loro esistenza è virtuale rispetto all'attualità dell'intero cui appartengono

Quando le parti esistevano come individui, separati dalla totalità, partecipavano dell'essere in proporzione alla loro essenza. Una volta che entrano a far parte di un ente più complesso — fisico, matematico, logico — come parti, questo ente, data la sua essenza più complessa, parteciperà dell'essere in misura maggiore: la loro entità è mutata. Per questo alle parti costituenti, spettando per la loro stessa essenza — e non solo perché appartengono al tutto — un grado minore di essere, risulteranno virtualmente esistenti rispetto all'attualità dell'esistenza del composto cui appartengono. La conseguenza fondamentale di questa dottrina è che la definizione tutto–parti diviene in Tommaso tutt'altro che impredicativa: il tutto *non può* esistere senza le parti perché la sua modalità di partecipazione all'essere, cioè la sua essenza, le suppone. Ma le parti possono esistere senza il tutto — ovviamente non come parti, ma come individui — in quanto la loro essenza «più semplice» consente loro di sussistere senza la totalità cui *possono* appartenere.

Vedremo nella Terza Parte di questo lavoro, nel Secondo Volume, quanto questa dottrina dell'esistenza virtuale degli elementi nel composto sia utile nella filosofia della natura, allorché si interessa della struttura dell'ente materiale (composti atomici, molecolari, organici, etc.).

Da queste intuizioni fondamentali che qui abbiamo potuto solo sommariamente accennare — e per il cui approfondimento si rimanda a testi ormai classici della metafisica neo–tomista del '900 quali *Lo spirito della filosofia medievale* di Étienne Gilson (Gilson 1932) e, soprattutto *Partecipazione e causalità* di Cornelio Fabro (Fabro 1961) — viene un aiuto essenziale a comprendere le classiche formule della metafisica tomista dell' «essere come atto» *esse ut actus.*

Essenza di un ente si relaziona all'essere come atto come la potenza all'atto

Gli enti partecipano dell'essere–come–atto partecipato dall'Atto Puro, secondo la diversità delle loro essenze o nature. L'*essenza* di ciascun ente si relazionerà quindi all'*essere* partecipato dalla Causa Prima come la *potenza* all'*atto.* Solo dunque nell'Essere Sussistente l'essenza coinciderà con l'essere, per questo *Atto Puro* senza alcuna potenzialità. Solo l'Atto Puro è «d'essere per essenza», è l'*Essere-necessariamente*, come amava definirlo Tommaso seguendo in questo Avicenna. In tutti gli altri enti, che hanno l'essere per partecipazione dall'Essere Sussistente, l'essenza «contrae» con la sua potenzialità l'attualità dell'essere, determinando così le differenze fra i vari esistenti, analogamente a come la materia «contrae» l'attualità della forma specifica, così che nessun individuo o gruppo di individui esaurisca la ricchezza della specie cui appartiene. Nessun uomo o gruppo di uomini esaurisce la ricchezza della specie umana, dell'essenza umana, dell' «umanità», con buona pace dei razzisti di ogni epoca, colore e ideologia. Allo stesso modo, nessun ente, nessuna specie di enti, e neanche tutte le specie di enti che compongono l'universo in cui viviamo, per quanto sterminato nello spazio e nel tempo possa sembrarci, esauriscono la ricchezza dell'essere, delle sue realizzazioni e manifestazioni….

Ecco dunque alcuni fondamentali testi di Tommaso che, con la loro chiarezza e profondità, sono sufficienti ad introdurci nel cuore della sua metafisica dell'*atto d'essere.*

> L'essere, infatti, è il più perfetto di tutti: si relaziona a tutte le cose come *atto.* Nulla infatti ha attualità se non in quanto è: quindi lo stesso essere è ciò che attualizza tutte le cose ed anche le stesse forme ((*S.Th.,* I,4,1, ad 3). Corsivi nostri).
>
> È evidente che il Primo Ente, (…), è attualmente infinito, cioè avente in sé tutta la pienezza dell'essere *non contratta ad alcuna natura né di genere, né di specie* (…). Pertanto, ogni ente che é dopo il Primo Ente, poiché *non è il suo essere* (essere e essenza non si identificano in lui, *N.d.R.*), ha l'essere ricevuto in qualcosa (nell'essenza con le sue componenti generiche e specifiche, *N.d.R.*) *per mezzo del quale lo stesso essere viene contratto.* E così in ogni ente creato, altra è la natura della cosa che partecipa dell'essere altro è lo stesso essere partecipato (…). Quindi, è necessario che

> l'essere partecipato in ciascheduno si relazioni alla natura partecipante come l'atto alla potenza (*Q. de Spir.Cr.*, 1. Corsivi miei).

> In ogni cosa allora si trovano sempre due principi, dei quali l'uno è il complemento dell'altro, il *rapporto* (*proportio*) dell'uno all'altro e come il rapporto della potenza all'atto, nulla infatti si completa se non per il proprio atto (*S.c.Gent.*, II,53,1283. Corsivi miei).

Che tipo di relazione causale è la «partecipazione dell'essere»?

Ma in che senso la partecipazione dell'essere è una forma di causalità e che cos'è che distingue la causalità metafisica o «partecipazione dell'essere» dalle altre forme di causalità fisica. Per questo, ci suggerisce Tommaso, occorre approfondire l'analogia fra la partecipazione ontologica dell'essere da parte dell'Essere Sussistente e la partecipazione logica, ovvero la fondazione analitica del «vero» sull'essere dell'ente che costituisce il referente di un enunciato linguistico.

### 5.5.3 Struttura causale della partecipazione

In una serie di passi soprattutto della *Summa contra Gentes* che potremmo definire il testo tomista principale di teologia metafisica, di approfondimento metafisico, indipendentemente dalla Rivelazione, della nozione di Assoluto e quindi del «Dio dei filosofi», Tommaso approfondisce quella che è la struttura fondamentale, metafisica e logica insieme, della nozione di *partecipazione dell'essere* che abbiamo introdotto.

Due questioni:

Due sono le questioni principali:

1. In che senso la partecipazione è relazione causale?

- In che senso e fino a che punto la relazione di partecipazione dell'essere dall'Essere Assoluto all'universo degli enti contingenti può essere definita una *relazione causale*.

2. La partecipazione può essere intesa come relazione tutto–parti?

- Se la relazione di partecipazione dell'essere dall'Essere Assoluto all'universo degli enti contingenti può essere concepita come la relazione tutto–parti, come cioè se l'Essere Assoluto fosse *la totalità dell'universo*, come certe metafisiche, soprattutto orientali, affermano.

La partecipazione è solo *analogicamente* una relazione causale

Riguardo al primo problema, malgrado più volte Tommaso usi la nozione di «Causa Prima» per parlare dell'Essere Sussistente, è bene attento ad evidenziare che questo uso del termine «causa», applicato alla relazione di partecipazione dell'essere, può aver valore solo *analogico*. Infatti, nota Tommaso (*S. c. Gent.*, II,12,913)[134], ciò che logicamente caratterizza la

---

[134] Ecco il testo: «Poiché infatti 'le relazioni sono quelle cose che secondo il loro proprio essere si riferiscono ad altro in qualche modo' come il filosofo dice nel libro delle *Categorie* (7, 6a,36-37; 6b,6-8), ne verrebbe che la sostanza di Dio sarebbe questo stesso ente che è in relazione ad altro. Ma ciò che è definito come qualcosa che è in relazione ad altro, in qualche modo dipende da questo: poiché né può essere, né può essere inteso sen-

nozione di causalità è la relazione di *doppia implicazione* e quindi la *simmetria* delle relazioni necessitanti fra la causa e l'effetto (Cfr. § 4.4, pp. 265ss.). Data la legge causale, non solo l'effetto rimanda *necessariamente* alla causa, ma anche la causa *necessariamente* produce l'effetto. Ma se così fosse anche per la relazione degli enti con l'unico Essere Sussistente allora:

Asimmetria delle relazioni fra Essere Sussistente e ed enti partecipanti ad Esso

- Né la relazione con l'Essere Sussistente avrebbe valore fondativo dell'insieme di relazioni causali caratterizzate dalla duplice necessitazione di cui sopra;
- Né l'Essere Sussistente sarebbe tale, se fosse sottoposto a necessità — come gli dei dell'olimpo ateniese al Fato — non sarebbe più Atto Puro, ma conterrebbe una *potenzialità*. Ciò che è sottoposto a necessità è infatti *contingente*.

Sinteticamente, nei termini cari al filosofo arabo Avicenna[135], se la relazione di ciascun ente all'Essere Sussistente (= partecipazione dell'essere) fosse una relazione causale ordinaria, l'Atto Puro o Essere Sussistente cesserebbe di essere quell'*Essere Necessariamente,* quella Necessità Assoluta che, invece, per poter essere il Fondamento di ogni altro tipo di necessitazione, leggi causali incluse, l'Assoluto è[136].

Differenza fra schema moderno della causalità e schema tommasiano

Si vede già da qui la profonda differenza fra una fondazione realista ed una logicista del determinismo causale quale quella della scienza moderna e della scienza greca, fondata sulla nozione logico–geometrica di *simmetria* e quindi sulla *reversibilità* ultima dei processi — si pensi solo all'ipotesi ergodica discussa in precedenza (Cfr. sopra § 2.7.2, pp.162ss.). È chiaro che l'esito dell'approccio logicista è di tipo *immanentista*: l'assoluto s'identificherà con la necessità della totalità. Ma oggi, dopo la scoperta delle antinomie in logica e matematica, sappiamo che questa totalità assoluta, infinita in atto, di relazioni perfettamente determinate non può essere dimostrata né definita in alcun modo consistente, perché qualsiasi tentativo in tal senso si auto–contraddice. Allora, o si rinuncia nihilisticamente a qualsiasi tentativo fondazionale — il *Grund,* il «fondamento» è un *Abgrund* un «abisso» o «assenza di fondamento» (Nie-

---

za questo riferimento. Ciò pertanto significherebbe che la sostanza di Dio dipenderebbe da qualcos'altro di estrinseco. Ma allora non sarebbe per se stesso l'«essere-necessariamente». Dunque non vi sono *relazioni reali* di questo tipo in Dio».

[135]Egli per primo, nel pensiero occidentale, ha introdotto la nozione di «partecipazione dell'essere» anche se in un senso estrinseco, molto diverso da quello tommasiano, perché non fondato sul doppio livello della determinazione causale che abbiamo appena spiegato.

[136] Un filosofo non può che ricordare, a questo punto, come Hegel, per opporsi pregiudizialmente alla nozione arabo–cristiana di trascendenza, inventò la formula del «dio che ha bisogno del mondo per essere dio», un «dio» della reciprocità della determinazioni, assolutamente immanente, e che dunque sarebbe contraddittorio indicare con la maiuscola.

tzsche) — , oppure si suppone esistente questa totalità assoluta infinita in atto come una sorta di «primitivo» non ulteriormente analizzabile, previo a qualsiasi discorso fondazionale si voglia affrontare, esprimendo poi formalmente tale supposizione in assiomi come quello del *buon ordinamento* per insiemi infiniti (Cfr. p.es., Fraenkel 1968).

Sapere che, invece, esiste un'alternativa a questo stato di cose che accomuna nel medesimo vicolo cieco cultura greca e cultura moderna, può essere estremamente stimolante per il pensiero post–moderno dotato di onestà intellettuale e non di chiusure pregiudiziali al Medio Evo arabo–cristiano. Non è casuale che proprio il pensiero orientale più aperto alla scienza e meno influenzato dall'illuminismo, anzi più aperto ad una rivalutazione della propria cultura medievale contro gli assalti della cultura occidentale greco–moderna — stiamo parlando del pensiero filosofico–scientifico della cultura giapponese — risulti da molti segni essere il «terreno di cultura» più disponibile a far attecchire simili nozioni fondazionali.

Con queste riflessioni ci siamo però introdotti nella seconda delle questioni che avevamo posto a Tommaso circa la relazione di partecipazione dell'essere dall'Assoluto all'universo degli enti contingenti, se cioè essa potesse essere compresa nei termini della relazione *Tutto–parti*, come cioè se gli enti che compongono l'universo fossero parti dell'Assoluto che allora si identificherebbe con l'universo stesso.

La relazione fra Essere ed enti non può essere quella tutto–parti

È chiaro, in base alla nostra precedente discussione che la risposta alla seconda questione, se la relazione di partecipazione possa essere intesa come relazione tutto–parti, è negativa: teologicamente questo sarebbe *panteismo*. Ma ciò che è interessante è il motivo metafisico che Tommaso dà del rifiuto di questa possibilità. Esso, malgrado tócchi una questione su cui il pensiero logico e matematico ha compiuto, a partire dal secolo scorso con i lavori di Cantor, enormi passi avanti, pur tuttavia mantiene a tutt'oggi la sua validità[137]. Ecco come Tommaso imposta la questione: può l'«Essere-Necessariamente», il Principio Assoluto, essere definito non contraddittoriamente come una *totalità onnicomprensiva di relazioni*?

---

[137] È noto, d'altra parte, come Cantor avesse studiato l'opera dell'Aquinate su questi temi, fosse in continuo contatto con Professori dell'Università Gregoriana di Roma per farsi aiutare nella comprensione dei grande filosofi e teologi scolastici sulle questioni riguardanti l'infinito e la sua attualità (Hallett 1984). Purtroppo non poteva avere a disposizione tutta la ricerca del '900 sulla dottrina tomista dell'essere come atto, cosicché la comprensione cantoriana del pensiero dell'Aquinate risulta fortemente limitata. In particolare, se avesse avuto a disposizione quella teoria, probabilmente la sua tardiva teoria sull'esistenza virtuale degli elementi negli insiemi numerici con cui aveva cercato di sfuggire alle antinomie sarebbe stata concepita in maniera diversa e avrebbe portato a risultati ben diversi (Cfr. Basti & Perrone 1996, 224ss.).

Contraddittorietà della nozione di totalità attualmente infinita di relazioni

Evidentemente, si risponde lo stesso Tommaso, questa totalità va intesa come una *totalità attualmente infinita di relazioni*, visto che deve contenere in sé tutte le relazioni possibili. Ma, Tommaso dimostra ben prima che lo dimostrassero Cantor e Gödel (col loro metodo della *diagonalizzazione*), che un tale concetto di *infinità* attuale di *tutte* le relazioni possibili è *intrinsecamente contraddittorio*, perché già lo è per un sottoinsieme di queste relazioni possibili: i numeri interi (positivi) e tutte le loro combinazioni, generati dall'unità e dalla relazione che pone il successore $n + 1$ (il *binarius*, lo definiva Tommaso). Infatti, se si ponesse una tale totalità,

> ne seguirebbe che vi sarebbero relazioni *attualmente* infinite *nel medesimo*, poiché i numeri infiniti in potenza (dunque un sottoinsieme della totalità delle relazioni possibili, *N.d.R.*) sono comunque *maggiori* del successore iniziale (*binarius*, la «duità» di Platone) sebbene esso li contenga *tutti* (*cum numeri infiniti in potentia sint maiores binario, quibus omnibus ipse est prior*)» (S.c.Gent., II,12,915).

In termini moderni, la funzione caratteristica di un insieme infinito di elementi (nel caso dell'insieme degli interi positivi, la relazione di successione) e di tutte le loro combinazioni (sottoinsiemi) possibili, non può essere contenuta in quell'insieme. Già abbiamo ricordato come la via maestra scoperta dai moderni dopo Cantor per evitare le antinomie nella teoria degli insiemi e/o delle classi sia quella di separare, con assiomi di esistenza del tipo dell'assioma dell'insieme–potenza di Von Neumann, fra insiemi–potenza non–costruibili (= classi) che determinano (ordinano) altri insiemi, ed insiemi costruibili (determinabili) a partire dai primi (Cfr. § 1.6, pp.89s.). La distinzione di Tommaso, in questo come in un altro passo che citeremo fra poco sullo stesso argomento, va precisamente nella medesima direzione.

Il principio che pone in atto (in essere) una totalità infinita, determinandola, dev'essere «fuori» la totalità stessa

Se dunque consideriamo l'ordine dell'universo dell'esistente come una totalità attualmente infinita di relazioni *reali* (causali) fra gli enti che lo costituiscono, la(e) relazione con l'Assoluto che *pone in essere determinadola* questa totalità dev'essere «fuori», «trascendente», la totalità medesima. Ma allora, se la(e) relazione(i) che l'Assoluto ha con l'insieme dei contingenti non sono relazioni reali, causali, almeno nel senso ordinario della simmetria della necessitazione causante–causato, di che tipo di relazioni si tratta?

### 5.5.4 Fondazione induttiva del vero

Analogia fra partecipazione ontologica e partecipazione logica

Per comprendere l'asimmetria della relazione di partecipazione ontologica Tommaso usa una significativa analogia con l'asimmetria della relazione di referenza logica fra l'enunciato e l'ente cui esso si riferisce e che fonda la *verità logica* dell'enunciato stesso. Fondazione della verità logica che potremmo allora definire di *partecipazione logica* dell'entità logica dell'enunciato all'entità extra–logica del suo referente.

La referenza come relazione di fondazione

Ci spiega Tommaso: le relazioni con le creature possono essere attribuite a Dio, ma solo secondo il modo con cui un *conoscibile* (oggetto) si relaziona al *conoscente* (soggetto), che è sempre una relazione *asimmetrica*. Infatti, come lo scibile determina col suo essere la verità o falsità (esistenza o inesistenza come ente logico) dell'enunciato del conoscente su di esso, nondimeno la relazione cognitiva *qua talis* conoscente-conoscibile non è nello scibile, ma nello sciente. È l'enunciato a *riferirsi necessariamente* allo scibile (dunque è l'ente a relazionarsi in maniera necessitata all'Essere Sussistente) non viceversa, proprio perché lo scibile (in quanto ente) determina l'«essere» (verità o falsità) dell'enunciato, ma l'enunciazione non può determinare nulla dell'essere dello scibile cui essa si riferisce. Non perché dico che «il cielo è azzurro» esso è azzurro o non è azzurro, bensì è l'azzurro del cielo a determinare l'essere logico (*verità*) dell'enunciato «il cielo è azzurro» o il non-essere logico (*falsità*) dell'enunciato «il cielo non è azzurro» (Cfr. *S.c.Gent.*, II, 12-15).

Parallelo fra la relazione referenziale enunciato–oggetto e universo degli enti–Essere Sussistente

Fuori di metafora, la *referenza* è una relazione R asimmetrica, cioè $xRy \neq yRx$; come Russell medesimo evidenzia nei *Principia*. Quest'asimmetria viene così spiegata da Tommaso, applicandola al nostro problema di esplicitazione della struttura relazionale ente — Essere Sussistente. Come un ente fa essere un enunciato, che allora necessariamente a quell'ente si riferisce per essere «logicamente» come *vero*, così l'Essere Sussistente fa essere un ente che allora a Lui necessariamente si riferisce per essere «fisicamente» come *esistente*.

La referenza ad oggetto è una *relazione immanente* al soggetto conoscente — e/o al sistema logico — che non influenza causalmente l'oggetto

La referenza–ad–oggetto è una relazione che nell'ordine cognitivo non termina all'oggetto reale conosciuto, ma resta nel soggetto conoscente. È cioè un *azione immanente*, come vedremo meglio nella Parte Quarta e nella Parte Quinta del nostro lavoro. Il riferirsi–ad–oggetto o *adeguazione* è infatti l'atto mediante cui l'operazione cognitiva — o l'operazione logica corrispondente — modifica la propria forma logica, per adeguarsi alla forma naturale dell'oggetto extra-mentale conosciuto. In tal modo, conclude Tommaso,

> Il vedere o il comprendere e azioni simili rimangono negli agenti e non modificano i rispettivi oggetti. Quindi l'oggetto visibile o intellegibile non subisce nulla dal fatto di essere visto o compreso.

> Per questo, *non sono essi a riferirsi ad altre cose, ma altre cose ad essi* (Tommaso d'Aq., *In Metaph.*, V, xvii, 1027).

Altri esempi di relazioni analoghe, in epistemologia ed economia

Altre relazioni asimmetriche simili, continua Tommaso, sono quelle della «relazione destrorsa» o «sinistrorsa» degli oggetti, che sono sempre rispetto a chi li osserva, mai nell'oggetto stesso. Si dice infatti che, p.es., una colonna «è alla mia destra», semplicemente perché io sono «alla sua sinistra». Ugualmente è dell'immagine rispetto all'esemplare: è l'immagine ad essere simile all'esemplare, non viceversa, oppure del denaro rispetto al prezzo d'acquisto. È il valore del denaro a cambiare in funzione delle variazione dei prezzi — dell'andamento del mercato, diremmo oggi — non viceversa. Tutte le *relazioni fondazionali* sono asimmetriche e dunque solo analogicamente «causali».

Insomma è l'essere dell'oggetto a fondare la verità dell'enunciato, non viceversa

Dal punto di vista logico ed epistemologico, proprio perché l'atto assertivo in logica o l'atto cognitivo in epistemologia non modifica l'oggetto referenziale, è l'*essere* dell'oggetto a fondare la *verità* dell'asserto e/o *l'adeguatezza* dell'atto cognitivo corrispondente. Certamente, conclude Tommaso, dal punto di vista epistemologico, si può parlare di una relazione dell'atto cognitivo anche al soggetto conoscente. Ma sarebbe gravemente erroneo parlare di una «relazione di referenza» dell'atto cognitivo al soggetto conoscente. La referenza è solo dall'enunciato all'oggetto oggetto che così diviene *costitutivo* della verità, dell'essere logico dell'enunciato stesso, visto come qui risultato dell'atto cognitivo. La relazione dell'operazione cognitiva col soggetto — spiega Tommaso (Cfr. Tommaso d'Aq., *In Metaph.*, V, xvii, 1029) — non è quella della referenza, ma la relazione di un accidente alla sostanza e/o di una facoltà (= potenza attiva) al suo soggetto.

Decoerentizzazione della funzione d'onda *vs.* riduzione della funzione d'onda elimina l'ultimo contesto rilevante in grado di confutare quest'epistemologia e questa metalogica

Effettivamente, la riduzione della funzione d'onda in meccanica quantistica sembrava essere rimasto l'unico ambito — e non certo di scarsa rilevanza epistemologica per la filosofia della natura e della scienza — in cui, al contrario di quanto qui affermato, il cambio di sistema di rappresentazione sembra influenzare radicalmente il sistema fisico osservato. Il fatto che, come abbiamo visto, esistano oggi dei modelli esplicativi dell'indeterminazione quantistica come quello della *decoerentizzazione della funzione d'onda,* molto più effettivi della riduzione della funzione d'onda, che evidenziano come il fattore rilevante non è l'interazione del sistema quantistico col sistema di rappresentazione in quanto tale, ma l'interazione del sistema quantistico osservato con altri sistemi fisici, fa cadere anche quest'ultimo baluardo «scientifico» del trascendentalismo moderno. In altre parole, ciò che è dirimente per il fenomeno della decoerentizzazione — e quindi per il passaggio determinismo–indeterminazione — non è la relazione col sistema d'osservazione in

quanto sistema rappresentazionale, cognitivo, ma in quanto sistema fisico, fra gli altri sistemi fisici.

Come l'enunciato non modifica nulla del referente, ma al contrario questo fonda la verità (l'esistenza logica) di quello così fra l'ente e l'Essere Sussistente

Tornando, ai nostri testi in cui Tommaso usa l'analogia con la referenza logica per spiegare la struttura della partecipazione ontologica, metafisica, dell'ente all'essere. L'ente con la sua esistenza non modifica nulla dell'Essere Sussistente cui si riferisce necessariamente per essere *ente*, come un enunciato non modifica nulla dell'essere dell'ente cui si riferisce necessariamente per essere *vero*. Il senso dell'analogia si comprende meglio quando si riflette sul carattere *asimmetrico, riflessivo* ed insieme *aperto,* che caratterizza sia la *referenza* nell'ordine logico (che è sempre un riferir*si* di sé a qualcosa di distinto da sé), sia l'*inseità* della sussistenza di una sostanza individuale nell'ordine ontologico (Cfr.in § 5.4.2, pp.330ss. la nozione di *reditio ad semetipsum,* «ritorno su se stesso» con cui Tommaso definiva questo carattere immanente dell'inseità della sostanza individuale scoperta da Aristotele). In tutt'e due i casi si tratta di un'auto–referenzialità che per essere consistente necessita che sia *parziale*. Necessita cioè che, e il fondar*si* della sussistenza dell'ente e il fondar*si* dell'adeguazione (verità) dell'enunciato, sia un *fondare se stesso su altro da sé* (Cfr. in § 3.1.4.2, pp.196ss., il carattere «semanticamente aperto» della verità in tutti i sistemi formali dimostrata da Tarski e Cfr. in § 5.5.1, pp. 354 l'insufficienza dell'inseità della sostanza in senso aristotelico, denunciata da Tommaso perché non «ontologicamente aperta» alla partecipazione dell'essere). Come insomma i sistemi formali devono essere sintatticamente e semanticamente «aperti» per essere consistenti e veri (per esistere logicamente), le sostanze devono essere metafisicamente «aperte» per sussistere come enti fisici.

Infinità attuale dell'Essere Sussistente è assolutamente semplice.

Se dunque esistono delle relazioni dall'Essere Sussistente all'universo degli enti, conclude Tommaso, esse esistono sulla falsariga della relazione intenzionale soggetto–oggetto nell'atto cognitivo. In tal caso, nel soggetto conoscente esiste non solo l'oggetto intenzionale (p.es., il concetto, nella metafora: il mondo), ma anche insieme ad esso le relazioni che esso ha o non ha con altri oggetti (Cfr. *S.c.Gent.*, II, 13, 919)[138]. Se dunque

---

[138] Applicato in teologia, ciò significa che in Dio — corrispondente a ciò che qui, in metafisica, si definisce come Essere Sussistente — gli enti che compongono l'universo e le loro relazioni esistono «intenzionalmente», come espressione della volontà e del pensiero creatori di Dio. Come perciò sono oggettivabili (esistono) nella coscienza umana le relazioni che gli oggetti pensati hanno fra di loro e verso di noi (p.es., l'esser utili e quindi appetibili, o pericolosi e quindi da evitare per la nostra volontà, oppure risultare veri o falsi per la nostra ragione), ma non quelli che come soggetti abbiamo verso di loro visto, che essi, in quanto oggetti di pensiero sono risultato, prodotto delle nostre facoltà quindi immanenti ad esse, così in Dio esistono le relazioni che gli enti hanno necessariamente con Dio non quelle che Dio ha con essi, proprio perché gli enti che compongono l'universo sono «creazioni» della sua Mente. In una parola, proprio perché Dio è in sé *tra-*

ogni ente si riferisce all'Essere perché dall'Essere ultimamente riceve esistenza, ciò non contraddice all'assoluta semplicità dell'Essere Sussistente.

> Nulla infatti impedisce al nostro intelletto di comprendere molte cose e di riferirsi in molti modi a ciò che è in sé semplice così da considerarlo sotto molteplici relazioni. E quanto più è semplice, tanto maggiore è il suo potere ed è principio di più cose (...). Ecco perché, sebbene molte cose si dicano relativamente a Dio, ciò attesta la sua assoluta semplicità (*S. c. Gent.*, II, 14, 921).

Differenza con la lettura moderna, hegeliana, del dogma della creazione

Il riferimento costante di Tommaso a «Dio», il «Dio» della teologia cristiana, in questi testi si giustifica perché una siffatta dottrina metafisica della partecipazione può essere posta in continuità, senza ovviamente dimostrarlo, con l'enunciato dogmatico della creazione in senso cristiano. In esso, infatti, si afferma l'assoluta necessità della relazione fra creatura e Creatore, cui si contrappone l'assoluta libertà della relazione fra Creatore e creatura. Viceversa, tale metafisica si contrappone, non solo alla visione pagana del «fato» e/o «destino», ma anche alla lettura hegeliana moderna della medesima dottrina, dove vige la doppia necessitazione fra Essere ed ente, secondo lo schema del «costituirsi necessario» dello Spirito Assoluto attraverso l'evolversi dialettico della natura e della storia, dove cioè «Dio ha bisogno del mondo per essere Dio».

## 5.5.5 Infinità dell'Essere *vs.* finitezza dell'ente

Contraddittorietà della nozione di infinità in *atto*, mentre non è contraddittorio parlare di oggetti *attualmente* infiniti (assolutamente e relativamente)

La precedente discussione ha messo in evidenza due ulteriori proprietà dell'Essere Sussistente:

- La sua infinità attuale o l'assoluta mancanza di ogni potenzialità e negatività;
- La sua semplicità assoluta o l'assoluta mancanza di ogni genere di molteplicità (quantitativa) e differenza (qualitativa) al suo interno.

Tutto ciò può aiutarci a chiarire un'altra confusione che spesso si fa su un punto qualificante del pensiero tommasiano, quello riguardante l'infinito attuale.In particolare ciò aiuta a capire in che senso per l'Aquinate sia contraddittorio parlare di oggetti–collezione *infiniti in atto* (*infiniti in actu*), mentre non è affatto contraddittorio parlare di oggetti *attualmente infiniti* (*actu infiniti*) sia *relativamente* (*secundum quid*) sia *assolutamente* (*simpliciter*). Tenuto presente che di oggetti attualmente infiniti in senso

---

*scendente* l'Universo degli enti perché è loro Fondamento, è rispetto agli enti *immanente*, nel senso che essi costituiscono il termine dell'azione creatrice di Dio, il termine del loro fondar*si* in Dio.

assoluto non può che esisterne uno: l'Assoluto o Essere Sussistente, tutto ciò porta ad una triplice distinzione riguardo tre generi di infinità:

Tre tipi di infinità consistente: 1. in potenza; 2. attuale relativa; 3. attuale assoluta

- Oggetti *infiniti in potenza*
- Oggetti *attualmente infiniti* in senso *relativo* (*actu infiniti secundum quid*)
- Oggetti *attualmente infiniti* in senso *assoluto* (*actu infiniti simpliciter*)

Essi risultano tutti perfettamente consistenti, in contrapposizione alla nozione contraddittoria di:

*Vs.* infinità in atto

- Oggetti *infiniti <u>in</u> atto* (*infiniti <u>in</u> actu*)

Ampliamento della visione aristotelica che riconosceva due tipi solo di infinito: in potenza e in atto

In tal modo, la concezione tommasiana corregge, ampliandola, quella aristotelica che invece riconosceva nella scienza due soli tipi di infinito, quello *in potenza* (consistente) e quello *in atto* (inconsistente). Ma soprattutto questa distinzione fa giustizia di una certa pubblicistica pseudo–scientifica divulgativa che, ancor'oggi continua ad affermare che la scoperta di Georg Cantor di metodi insiemistici per confrontare rigorosamente in matematica i diversi tipi d'infinito, sconfessava la dottrina scolastica che considerava *tout court* contraddittoria la nozione di infinito in atto eccetto che quando applicata alla divinità (*sic*).

Al contrario, va dato atto alla genialità matematica di Georg Cantor e alla sua fede sincera di credente fin troppo scrupoloso di aver dato l'avvio attraverso la sua dottrina sull'infinito a quell'opera di chiarificazione rigorosa dei limiti logici ed epistemologici delle scienze naturali e matematiche moderne di cui abbiamo parlato nel Capitolo 1 di questo lavoro.

Grazie al più volte citato lavoro di Hallett, è ormai storicamente certo come Cantor distinguesse fra tre generi d'infinito con una distinzione che ha molti punti in comune con quella tommasiana appena ricordata:

Tre tipi di infinità anche per Cantor: 1. in potenza; 2. transfinita; 3. assoluta

- *Infinito in potenza,* indeterminato e incrementabile
- *Infinito transfinito,* determinato e non incrementabile
- *Infinito assoluto,* determinato e non incrementabile che, anche per Cantor, era solo Dio, l'Essere Assoluto.

Concezione cantoriana contro due approcci all'infinito:

Tale distinzione — che purtroppo, quando Cantor era vivo, suscitò l'opposizione non solo da parte della maggior parte degli scienziati, ma anche da parte di teologi assai poco eruditi, sia cattolici che protestanti —, era usata da Cantor per opporsi a due generi di strumentalizzazione illuminista della scienza e della matematica moderne, confutandone due capisaldi.

1. Spinoziano, che identificava la natura con un'infinità attuale completamente determinata

- Il primo, era *l'equivalenza spinoziana fra Dio e la Natura* (*Deus sive Natura*), fondamento dell'ateismo teoretico moderno. Tale equivalenza si basa sulla supposta riducibilità di ambedue le nozioni ad una medesima nozione di infinità attuale completamente determinata come fondamento immanente, sia dell'ordine della natura, sia della necessità ed universalità delle spiegazioni della «nuova scienza geometrica» della natura galileiano–cartesiana.

2. Kantiano, che concepiva l'infinità attuale come limite di quella potenziale

- L'altro caposaldo sono *le quattro antinomie kantiane*, antimetafisiche, circa l'idea di mondo (finitezza/infinità, discrezione/continuità, indeterminismo/determinismo, causato/incausato), tutte fondate sul medesimo principio di concepire l'infinità attuale assoluta come limite del finito (Lombardo–Radice 1981).

Contro ambedue questi capisaldi della filosofia illuminista e del suo programma anti–teologico e anti–metafisico, si pone la distinzione cantoriana fra *l'infinito attuale relativo* o *transfinito*, come nozione logico–matematica, e *l'infinito attuale assoluto* come nozione metafisica e teologica, attributo tipico della natura divina, assolutamente inattingibile alla conoscenza matematica.

Purtroppo, Cantor pensò di dover contrapporre la sua visione dell'infinito a quella tomista

Si deve soltanto alla scarsa conoscenza del pensiero dell'Aquinate da parte di Cantor ed alla pochezza intellettuale ed alla scarsa erudizione dei suoi interlocutori teologi anche cattolici, se Cantor pensò di dover opporre sistematicamente questa sua concezione dell'infinità attuale in matematica alla dottrina scolastica sull'infinito attuale ed in particolare alla dottrina tomista.

Distinzione tomista fra infinito privativo (= in potenza) di cui è contraddittorio pensare una terminazione (= infinito in atto) e la nozione d'infinito negativo, come negazione del carattere finito di un oggetto (p.es., l'insieme dei numeri naturali)

Uno studio più attento dell'opera dell'Aquinate gli avrebbe infatti mostrato che la nozione di infinito attuale relativo o *infinitum actu secundum quid* era perfettamente ammessa da Tommaso come non–contraddittoria e dunque ammissibile come ente logico, anche se non come nozione interamente costruttiva (cioè come *infinitum in actu*) perché è contraddittorio concepire l'attualizzazione completa di un infinito potenziale. Ovvero, è del tutto contraddittorio concepire l'infinito in potenza o *infinito privativo* inteso come successione finita comunque incrementabile, dunque iterativamente «privata» della sua terminazione (= infinito *in potenza*), come qualcosa che può essere terminato, completamente *attualizzato* (= infinito *in atto, infinitus in actu*). Ha senso dunque di parlare dell'attualità di un infinito relativo per Tommaso, solo come *infinito negativo* ovvero come non–contraddittoria negazione del carattere finito di un certo oggetto, di una certa totalità, secondo una sua specifica modalità di essere. Per esempio, e l'esempio è di Tommaso stesso, è perfettamente consistente affermare che i la totalità dei numeri naturali è infinita perché non esiste né può esistere il numero intero positivo massi-

mo di una qualsiasi successione infinita di essi[139]. Ma proprio per questo motivo è assolutamente contraddittorio pensare di poter costruire in forma incrementale la totalità infinita dei numeri naturali.

Carattere gerarchico degli oggetti attualmente infiniti in senso relativo.

In tal modo, il limite che positivamente può essere determinato di un siffatto oggetto e che consente di definirlo come una totalità chiusa, come cioè un esistente *attualmente infinito* (= *infinitus actu* e non *in actu*) secondo quella particolare modalità, suppone che tale oggetto sia contenuto in un ulteriore oggetto infinito di ordine superiore (p.es., dopo Cantor, nel caso dei numeri, sappiamo che il primo ordinale transfinito ω, contiene sotto di sé l'insieme dei naturali), secondo una gerarchia che ha come limite di nuovo non appartenente alla successione e non costruibile attraverso di essa, «Ciò che è Attualmente Infinito» secondo ogni modalità d'essere[140].

---

[139] Ciò è del tutto diverso dalla pretesa di «costruire» tale totalità come un'infinità in atto. Ovvero, dalla pretesa di prendere una sequenza comunque grande, ma sempre finita di numeri naturali, e quindi incrementando, pretendere di definire passo passo tutta la totalità infinita. Non esiste infatti il massimo numero naturale.

[140] In un passo delle *Quodlibetales* (IX, 1) Tommaso afferma esplicitamente come la nozione di un ente fisico o matematico *determinato* (p.es., un corpo o una linea) sia perfettamente compatibile con una sua *infinità attuale relativa* o *secundum quid* (p.es., l'infinità della sua lunghezza). In tal modo, il concetto tommasiano di infinità attuale *secundum quid* — in quanto opposta alla nozione di *infinità attuale assoluta* o «infinita secondo *tutti i modi* della sua essenza e del suo essere» che è solo dell'Essere Sussistente —, appare del tutto coincidente con la definizione cantoriana del *transfinito* come *infinità determinata, ma incrementabile*, in quanto contrapposta alla definizione cantoriana dell'*infinità attuale di Dio,* come *infinità assoluta e non incrementabile.* Tale coincidenza appare del tutto giustificata quando la si confronti con la conseguenza tratta da Tommaso stesso un poco più avanti che l'incrementabilità dell'infinità attuale relativa implica la possibilità di distinguere fra *diversi ordini di infinità.* E questo resta vero sebbene, come spesso accade negli esempi matematici usati da Tommaso per giustificare alcune sue tesi di filosofia della matematica, l'esempio addotto dall'Aquinate (l'infinità dell'insieme dei numeri pari e dispari è «maggiore» di quella dell'insieme dei soli numeri pari) sia del tutto errato. Viceversa, ciò che per Tommaso ripugna al concetto di *infinità attuale* è il concetto di «ente in atto», nel senso di «posto in atto» da una pre–esistente potenzialità. Il concetto di «ente in atto» suppone infatti che l'esistenza di quell'ente dipenda da un *ordinamento ad altro da sé,* che in questo caso sarebbe la serie infinita già tutta costituita. Supporre dunque che un ente in atto, ovvero «costituito» mediante una successione ordinata di passi (p.es., una procedura ricorsiva), sia attualmente infinito, implicherebbe la necessità che sia possibile il *completamento costruttivo di una serie infinita attraverso un termine ultimo assoluto,* il che è manifestatamente impredicativo e in questo caso contraddittorio. Nei termini di Tommaso: «l'infinità *necessaria* (*per sé*) ripugna a ciò che è ente in atto (progressivamente costruito, *N.d.R.*) per il fatto che in siffatti enti, che *necessariamente* (*per sé*) hanno un ordine, si richiede che sia completata la serie anche rispetto all'ultimo termine di essa (*oportet compleri postremum*), il che può avvenire solo in relazione a tutti i termini precedenti *già* presi in qualche modo tutt'insieme (*nisi per comparationem quodammodo omnium priorum:* impredicatività!, *N.d.R.*)». Come si vede Tommaso non esclude affatto la pensabilità e dunque l'esistenza matematica di *infiniti attuali relativi* e la loro *ordinabilità* gerarchica. Ciò che nega è la loro *costruibilità,*

In altri termini è contraddittorio pensare all'infinità attuale solo come termine di una procedura costruttiva, come attualizzazione progressiva di un infinito privativo

Ed in effetti Cantor stesso, in matematica, dovette amaramente rendersi conto che la sua nozione di transfinito era assolutamente insufficiente, contro le sue aspettative originarie, per una fondazione *costruttiva* e non assiomatica dell'esistenza del *continuo* in matematica, inteso come nozione–limite di una successione ordinata di transfiniti. Una non–costruttività dell'idea di infinito che era precisamente il punto su cui Tommaso concentrava la sua critica per affermare la contraddittorietà della nozione di infinito attuale come *infinito in atto* (*infinitus in actu*, costruttivo, o, nella sua terminologia, attualizzazione progressiva di un «infinito privativo»), e non come *attualmente infinito* (*infinitus actu*, o, nella sua terminologia come «infinito negativo»), relativo o assoluto che fosse.

Non è contraddittorio pensare all'infinito attuale e a molti generi di infiniti attuali, alcuni relativi ed uno Assoluto. Ciò che è contraddittorio è pensare ad una nozione *costruttiva* di infinito attuale, come P. J. Cohen, citato in precedenza, ci ricordava. È contraddittorio pensare cioè di poter costruire «pezzo a pezzo» un infinito attuale portando *in atto* un infinito *in potenza* (Cfr. nota 24, p. 79).

Per questo l'infinito attuale assoluto dev'essere assolutamente semplice

In ogni caso, l'Essere Assoluto come infinità attuale non può contenere in sé alcuna distinzione, *è assolutamente semplice*, a differenza dell'infinità attuale dell'Assoluto di tutte le metafisiche immanentiste, innanzitutto dell' «intero dell'essere», costruttivo di Hegel e non–costruttivo di Severino. Essi non si accorgono di come pretendere di considerare la totalità dell'essere come attualmente infinita ed insieme completamente differenziata al suo interno — mettere insieme Parmenide e Platone senza

---

nega cioè la completabilità della loro costruzione così che possano essere definiti come «enti (posti) in atto». Nei termini della critica moderna al costruttivismo cantoriano in teoria degli insiemi: «Tali questioni non sono affatto triviali. Mi sembra che l'uso di una terminologia costruttivista in questi argomenti che riguardano la teoria degli insiemi sia effettivamente pericolosa perché serve ad oscurare la natura *realista* della teoria. In breve, essa oscura la differenza fra descrizione unica di un oggetto *che è assunto come già esistente* e la sua definizione costruttiva, cioè la specificazione di un processo mediante il quale un *nuovo* oggetto ha da essere costituito (come «ente in atto», *N.d.R.*). Come sia Gödel e prima di lui Poincaré hanno posto in evidenza, non c'è da aver paura ad usare definizioni impredicative (definizioni che suppongono un ordinamento di oggetti infiniti già costituito cui l'oggetto stesso appartiene, *N.d.R.*), se lo scopo della matematica è concepito come la descrizione di, o lo stabilimento della verità su, oggetti che già esistono, «oggetti che esistono indipendentemente dalle nostre costruzioni» (Gödel 1944, 136). Per esempio, il termine «il minimo limite superiore dell'insieme limitato di punti *A*» è perfettamente innocuo come *una descrizione* di un particolare numero reale, posto che si assuma che si sta descrivendo oggetti già esistenti. (...) Ma se la matematica riguarda la costruzione di *nuovi* oggetti, il principio del circolo vizioso deve entrare immediatamente in gioco. *Non si possono* costruire oggetti usando specificazioni che si riferiscono all'oggetto stesso o *agli insiemi ai quali esso appartiene* o che usano una quantificazione indefinita (*unbounded*)» (Hallett 1984, 237).

Aristotele e Tommaso — sia una nozione intimamente contraddittoria (Basti & Perrone 1996).

Distinzione tomista fra «totalità infinite composte di parti» (p.es., le classi) e «totalità senza parti» che costituiscono le prime (p.es., le essenze)

A tale proposito, Tommaso usa un'altra distinzione. Come nella costituzione di ogni specie (classe) di oggetti, bisogna distinguere fra la «totalità composta di parti» (*totalitas ex partibus* p.es., la classe cui appartengono tutti gli uomini e i possibili gruppi di uomini) e il principio formale che rende questa collezione una totalità coerente o «totalità senza parti» (*totalitas ante partes*, nel nostro esempio, «l'umanità»), così la «totalità composta di parti» della collezione universale $V$ composta da tutti gli oggetti che condividono il predicato «essere ente» (che non si identifica al predicato «esiste» senza ulteriori modalità, come vedremo) hanno nell'Essere Sussistente la loro «totalità senza parti» costitutiva.

Assoluta semplicità dell'Essere Sussistente, totalità senza parti.

L'assoluta semplicità dell'Essere Sussistente dev'essere così non solo, come per ogni forma, negazione di ogni composizione di parti, ma anche nel senso più radicale di non esser composta di *essenza* ed *essere* come tutti gli enti (Cfr. Tommaso d'Aq., *In de Div. Nom.* 13; *S. Th.*, I, 18, 4 ad 3; *S. c. Gent.*, II, 14, 921; *In Phys.*, III, xi,385, etc.).

## 5.6 Conclusione: metafisica *vs.* epistemologia

### 5.6.1 Trascendentale classico e moderno

Fondazione metalogica e metafisica della scienza *vs.* fondazione epistemologica

Questo veloce *excursus* attraverso alcuni capisaldi del pensiero classico pre–moderno, rispetto a quanto detto nei capitoli precedenti, ha evidenziato un punto essenziale per l'oggetto del nostro lavoro. Oggetto che — ricordiamolo sempre — sono i rapporti fra filosofia della scienza e filosofia della natura, fra riflessione metodologica sui fondamenti logici *dell'impresa scientifica* e riflessione metafisica sui fondamenti ontologici *degli oggetti di ricerca* dell'impresa scientifica stessa: gli enti che compongono il mondo fisico. Il nucleo della contrapposizione fra la nozione di *scienza*, e più generalmente di conoscenza nell'accezione classica e in quella moderna del termine, si trova essenzialmente nella questione dei fondamenti della *predicazione*. Dell'atto cioè con cui un certo predicato, al termine dell'atto cognitivo, viene attribuito ad un determinato soggetto nella costruzione di enunciati all'interno di un determinato linguaggio[141]. Detto

[141] Nei termini della teoria tomista della conoscenza, si tratta dell'atto cognitivo della «seconda operazione» dell'intelletto o atto della *formulazione del giudizio* che, dal punto di vista linguistico, viene definito da Tommaso atto della *compositio - divisio*. Si tratta cioè dell'atto con cui viene *affermata* (p.es., come quando si dice: «Andrea è uomo») o *negata* (p.es., co-

nei termini della logica formale contemporanea, il nucleo di tutta la questione consiste in un problema di fondamenti della *logica dei predicati** del linguaggio prodotto dall'attività cognitiva. Oppure, detto in termini filosofici, il nucleo della contrapposizione classicità - modernità è tutto nella questione dei *trascendentali*. Più esattamente, il centro di tutta la questione si trova nella contrapposizione fra (Fabro 1997):

- *Fondamento metafisico* del linguaggio scientifico, o più generalmente razionale, *nell'esistenza e nell'essenza* del referente del singolo enunciato (approccio classico);
- *Fondamento epistemologico o «critico»* del linguaggio scientifico, o più generalmente razionale, *nell'evidenza e nell'autocoscienza* del soggetto conoscente (approccio moderno).

**Definizione 7**

**Con «trascendentale» s'intende nella filosofia della conoscenza il fondamento ultimo dei *concetti* della ragione e quindi dei *predicati* della logica nella costituzione di *enunciati semplici o atomici* (proposizioni categoriche composte da un soggetto e da un predicato uniti dalla copula «è») che sono ciò mediante cui i concetti della ragione vengono primariamente espressi in un linguaggio.**

Il concetto di «trascendentale» in quanto opposto a quello di «categoriale»

Ogni concetto (predicato) si basa infatti su dei concetti (predicati) più fondamentali perché più «unificanti» e quindi più «generici» dei precedenti (p.es. «gatto» è meno generale di «animale» che è meno generale di «vivente», etc.), fino ad arrivare alle *categorie* o «predicamenti» (p.es., «sostanza», «qualità», «quantità», etc.), che sono i concetti estensivamente più universali e dunque i predicati più generali. Il problema è quello di trovare un *fondamento* a queste unità concettuali più generali e alla loro attribuzione (*affermazione* o *composizione* mediante la copula «è») o non - attribuzione (*negazione* o *divisione* mediante la negazione «non è» della copula) a un soggetto. Tale fondamento non può essere a sua volta un concetto universale, o genere, per non cadere in un regresso all'infinito.

---

me quando si dice: «Andrea non è uomo») l'attribuzione di un certo predicato ad un determinato soggetto.

Per Tommaso e per ogni filosofo o scienziato realista il fondamento trascendentale delle «unificazioni» categoriali è perciò l'essere dell'*ente*. Di quell'ente che costituisce il referente dell'enunciato, sia l'ente in questione una «sostanza» (p.es., un albero o un cane) o un «accidente» o proprietà di una sostanza (p.es., una «qualità» o una «quantità»).

Trascendentale classico e trascendentale moderno

Per i moderni, invece, dopo Descartes e Kant il fondamento trascendentale delle unità logiche del linguaggio (= proposizioni) è la funzione unificante dell'autocoscienza del soggetto conoscente, visto che l'autoevidenza immediata dei postulati diviene il fondamento dell'evidenza mediata delle dimostrazioni. Per questo, seguendo un'usanza invalsa in certa filosofia neo - scolastica di questo secolo abbiamo parlato di trascendentale «oggettivo» (classico, tomista) in quanto contrapposto a quello «soggettivo» (moderno, kantiano).

In sintesi:

**Definizione 7b**

**Con «trascendentali» s'intendono in logica i *termini primitivi* più fondamentali che costituiscono la base di ogni linguaggio. In particolare, nei linguaggi formalizzati, è grazie ai termini primitivi che vengono costruiti gli stessi enunciati assiomatici e le stesse definizioni di partenza, in ogni procedura dimostrativa interna ad una determinata teoria scientifica. Nell'accezione tomista i termini primitivi più fondamentali o, appunto, «trascendentali», sono quelli che dichiarano il significato particolare con cui va inteso il termine «ente» e i termini ad esso equivalenti all'interno di un particolare linguaggio.**

La differenza fra approccio classico e moderno alla scientificità di una teoria e/o di un linguaggio formalizzato può dunque anche essere espressa dicendo che mentre nella classicità era la metafisica a fornire i fondamenti al discorso scientifico e più generalmente razionale, nella modernità è l'epistemologia a cercare di fornire questi fondamenti.

Dalla nozione classica di metafisica a quella moderna di «visione del mondo»

In base a quanto visto è dunque profondamente vero affermare che le metafisiche nella modernità, in seguito alla «rivoluzione copernicana» operata dalla nascita della scienza moderna, sono state sostituite da *visioni del mondo,* se è vero che il loro fondamento non è posto nel *mondo delle cose e dalla capacità della mente e del linguaggio di adeguarsi ad esso*, ma nel *modo del pensiero autocosciente di rappresentarsi il mondo delle cose adeguandolo alle proprie pre–comprensioni.*

Si tratterà allora di «visioni del mondo» di tipo o *razionalista*, o *empirista*, o, sinteticamente, *trascendentale* nella misura in cui pretendono che la *verità* ultima dei concetti e delle leggi logico–matematiche del pensiero non si fondi sull'*essere* delle cose e sull'insieme delle loro proprietà caratterizzanti o *essenza*, ma rispettivamente:

- *nel razionalismo* (Cfr. le filosofie di Descartes, Spinoza, Leibniz, etc.), sulla *ragione* e la sua proprietà di *autocoscienza* in quanto considerata fondamento dell'*evidenza concettuale*;
- *nell'empirismo* (Cfr. le filosofie di Locke, Berkeley, Hume, etc.), sull'*esperienza* e la sua proprietà di *autocoscienza* in quanto considerata fondamento dell'*evidenza sperimentale*;
- *nel trascendentalismo* (Cfr. la filosofia di Kant e dei neo–kantiani) sulla *sintesi trascendentale* di ragione ed esperienza in quanto è l'*autocoscienza* stessa stavolta, o «Io penso trascendentale», ad essere considerata, coerentemente peraltro, come fondamento di ambedue.

Nel neopositivismo e nell'empirismo logico contemporanei, corrispettivo linguistico dell'autocoscienza diviene la *tautologicità* — e con ciò *l'autoidentità* soggiacente — delle forme logico–matematiche pure.

Dov'è la differenza fondamentale fra pensiero filosofico classsico e moderno?

Ora, se le cose stanno così, e torniamo al passo di Maritain che ci è servito da prefazione a tutta la precedente discussione nel Capitolo Quarto sulla contrapposizione e sui punti di contatto fra pensiero scolastico e pensiero moderno sulla scienza (Cfr. p. 234), ci è facile comprendere il limite di tale interpretazione di questi rapporti cui accennavamo. C'è innanzitutto il fastidioso tono apologetico concentrato nell'affermazione centrale che qui riportiamo e colà evidenziata dal nostro corsivo.

> (…) la teoria intellettualistico critica o realistico critica della scienza i cui principi sono stati stabiliti dai metafisici antichi e medievali, è la sola che ci dia un mezzo per veder chiaro nei problemi epistemologici, divenuti ai giorni nostri un vero caos.

Si tratta evidentemente di un tono residuale di quell'«età delle visioni del mondo» contrapposte che ci siamo fortunatamente lasciati alle spalle, ma da cui è così difficile liberarsi, anche a oltre sessant'anni dalla prima

edizione di questo lavoro e a ed a oltre trenta dalla sesta che stiamo citando nella sua versione italiana.

Verità come *adequatio* e verità come *evidenza* chiave della contrapposizione

Ma il limite appena ricordato non è casuale: ha una sua profonda ragione teoretica. All'illustre filosofo francese sembra, infatti, sfuggire completamente la chiave di volta dell'intera questione. Ovvero l'irriducibilità del paradigma di scientificità classico fondato sull'essere e sulla verità come *adaequatio*, e quello moderno basato sull'autocoscienza e sulla verità come *evidenza*. In altre parole, da una parte Maritain è completamente nel giusto nell'affermare che fra epoca classica–medievale ed epoca moderna è cambiato il paradigma di scientificità. Ed è ancora perfettamente nel giusto nell'affermare che per ambedue i paradigmi le scienze matematiche erano modello di scientificità, se è vero che il carattere dimostrativo è ciò che, prima di tutto, caratterizza l'impresa scientifica. D'altra parte però se Maritain centra tutta la questione della scientificità tanto per il classico come per il moderno nel *principio di evidenza* siamo punto e daccapo. Vuol dire che nascostamente è all'opera nel francese Maritain un pregiudizio cartesiano nella sua lettura del pensiero classico.

La questione dell'autoevidenza dei postulati matematici

Infatti, se è vero che tanto per gli antichi come per i moderni era la matematica il modello di scientificità, era per un Descartes o per un Newton che la matematica era modello di scientificità perché gli assiomi della matematica, e della geometria in particolare, e quindi quelli della fisico - matematica erano dotati di assoluta ed universale autoevidenza. Ma non è certo così per il moderno dopo Riemann e l'assiomatizzazione delle geometrie, con i quali si dimostra che non esiste una sola geometria, quella euclidea dello spazio piano, ma un'infinità possibile di esse. Oppure, per fare un esempio tolto dalle scienze fisico–matematiche, che autoevidenza può avere oggi, p.es., un assioma che definisce uno spazio a ventidue dimensioni quali quelli di una teoria di cosiddetta «supersimmetria» in cosmologia?

Se dunque per l'epistemologia contemporanea ha ben poco senso invocare l'autoevidenza dei postulati delle matematiche tanto teoriche che applicate, era ugualmente così per Tommaso. Egli, anzi, pur ammettendo il carattere eminente delle matematiche come scienze dimostrative, negava assolutamente che ciò dipendesse dal carattere autoevidente dei loro postulati. Anzi egli citava i postulati matematici come esempio di proposizioni che pur essendo «per sé note», ovvero proposizioni in cui il nesso soggetto–predicato era immediatamente fondato per implicazione necessaria, e non mediatamente o per implicazione deduttiva o dimostrazione, pur tuttavia negava la loro conoscibilità immediata *da tutti*, e dunque negava che fossero autoevidenti (Cfr. p.es., Tommaso d'Aq., *In Post. An.* I, v, 50).

Principio di evidenza e visioni del mondo contrapposte

Ma, a parte, questioni esegetiche sui testi di Tommaso o questioni di sensibilità scientifica, dov'è il problema teoretico nel supporre che fondamento dell'impresa scientifica tanto per il classico come per il moderno sia il principio di evidenza? Se infatti si accetta questo, allora la differenza fra classicità e modernità, fra paradigma metafisico classico e paradigma scientifico moderno consisterebbe tutta nel contrapporre *un'evidenza immediata*, quella metafisica — o, nei termini di Maritain, quella di tipo «intellettualistico–critica» platonica o quella di tipo «realistico–critica» di tanto tomismo neo–scolastico contemporaneo — ad un'altra *evidenza immediata,* quella matematica o sperimentale del trascendentalismo critico moderno. Tutta la questione si ridurrebbe così al contrapporre una «visione del mondo» ad un'altra. Ma finché si pone il fondamento della scientificità nell'*evidenza* siamo di fatto anteponendo l'*epistemologia* ed una certa epistemologia, quella di tipo cartesiano–kantiana della cosiddetta filosofia critica o trascendentale, nient'affatto accettata neanche dalla totalità degli epistemologi moderni, alla *metafisica.* Siamo quindi completamente fuori dalla classicità e dal Medioevo e certamente fuori del pensiero tommasiano, di Tommaso d'Aquino, cioè e non di certo tomismo.

L'evidenza ed il problema della verità

L'evidenza infatti è uno *stato di coscienza*, quello che accompagna una conoscenza cui il soggetto sente passivamente di dover dare l'*assenso,* p.es., solitamente, perché crede che sia vera. Ma non è detto affatto che lo sia. Per uno schizofrenico è evidente essere Napoleone, ma non è detto che lo sia. Oppure, come sapientemente notava Tommaso in uno degli infiniti passi in cui egli critica questa posizione che antepone il pensiero all'essere (Cfr. (Tommaso d'Aq., *S.Th.,* I, 86, 5, 2c) e (Basti 1991, 132ss.) per una discussione critica), per uno che abbia il gusto malato è evidente che il miele è amaro, ma non è detto che sia così. L'età moderna è l'età delle visioni del mondo sterilmente contrapposte e irriducibili perché è l'età dell'epistemologia basata sull'evidenza e non sull'essere (entità) dell'ente.

Verità come adeguazione *vs.* verità come evidenza

Non per nulla Tommaso affermava recisamente che la conoscenza della verità si ha solo quando formuliamo il giudizio (= seconda operazione dell'intelletto), ovvero esprimiamo la nostra apprensione dell'idea o dell'essenza dell'ente — fisico, logico–matematico o fantastico che sia — che intendiamo conoscere (= prima operazione dell'intelletto)[142], sotto forma di enunciato predicativo. In tal modo, di fatto sottoponiamo il giudizio che abbiamo formulato su una cosa ad una prova di consistenza, cercando di interpretare alla sua luce l'esperienza disponibile su

[142] Per la distinzione fra prima e seconda operazione dell'intelletto nella psicologia tomista, Cfr. (Basti, 1995, p. 240ss., spec. p. 252).

di esso, sia essa costituita da una sensazione attuale, o da conoscenze precedentemente acquisite e memorizzate, sia di tipo empirico o razionale (Cfr. Tommaso d'Aq., I, 16, 2c; *De Ver.,* I, 3; 9; *S. c. Gent.* I, 59; *In Periherm.*, I, iii, )[143]. Egli perciò negava recisamente che la conoscenza della verità si abbia quando escogitiamo nella nostra mente l'idea (*apprensione dell'essenza*) – e dove dunque la percezione di evidenza solitamente interviene – che poi sarà formulata nel giudizio.

Irrilevanza epistemologica degli stati di coscienza

Quale sia lo stato di coscienza che accompagni l'atto dell'escogitare la nuova idea, esso non ha per Tommaso alcuna rilevanza epistemologica, né tantomeno ha alcuna rilevanza metalogica o metafisica, a meno che non vogliamo scadere nello *psicologismo* in logica, o perderci nei meandri della ricerca di fondazioni trascendentali «intersoggettive» della coscienza. Quante volte, infatti, sia nella storia di ciascuno che in quella della scienza ciò che era tutt'altro che evidente per una persona o per un gruppo, si è dimostrato poi, alla prova dei fatti, essere «vero» cioè *adeguato al reale* – qualsiasi cosa, almeno per il momento, quest'espressione significhi?

Qualcosa è evidente perché vero, non viceversa

In ultima analisi, una cosa *non è vera perché è evidente*, ma — anche se non sempre — *evidente perché è vera*. Ciò che fonda la verità di una proposizione non è la *certezza cosciente* che accompagna l'atto cognitivo di chi la esprime, bensì la sua adeguazione al reale, sia che questa «realtà» appartenga all'ordine fisico, o logico - matematico, o altro. «La conoscenza è un qualche effetto della verità», non viceversa, diceva Tommaso, sacandalosamente per una mentalità moderna.

> Ogni conoscenza si completa (*perficitur*) per messo dell'assimilazione del conoscente alla cosa conosciuta così che tale assimilazione è il fondamento stesso della conoscenza (*causa cognitionis*) (...). È a questa adeguazione della cosa e dell'intelletto che, come è stato detto, segue la conoscenza. Così pertanto l'entità della cosa (*entitas rei*) fonda il contenuto della verità (*praecedit ratio veritatis*), ma *la conoscenza è come un effetto (effectus quidam) della verità* (Tommaso d'Aq., *De Ver.*, I,1c).

---

[143] Formalmente, si tratta di una vera e propria analisi metalogica di consistenza di enunciati logici, condotta psicologicamente a livello della cosiddetta «ragione», ovvero a livello della «seconda riflessione» dell'intelletto o pensiero autocosciente (per la distinzione fra prima e seconda riflessione dell'intelletto e fra queste e le due operazioni dell'intelletto nella psicologia tomista, (Cfr. Basti 1995, p. 240ss.). Si tratta infatti di controllare la non–contraddittorietà del nuovo enunciato con altri enunciati acquisiti, siano essi a quantificazione universale (p.es. «tutti gli uomini sono mortali») o a quantificazione particolare (p.es., «gli italiani sono mortali») o singolare (p.es. «Socrate è mortale»).

Carattere immediato degli assiomi non significa sempre autoevidenza

Per sgombrare il campo dagli equivoci, occorre però fare a questo punto una precisazione. Un neo–scolastico obbietterebbe che questa nostra opposizione al principio di evidenza non è di Tommaso, almeno per quanto riguarda le proposizioni metafisiche. P.es., proprio in uno dei passi sopra citati, quello dove Tommaso nega autoevidenza agli assiomi della matematica, egli sembra affermare il contrario per quelli della metafisica. Afferma infatti Tommaso che, rispetto a quelle proposizioni che si assumono come *premesse* o *principi* di una dimostrazione, sebbene siano tutte *per sé note in se stesse*, ovvero conosciute immediatamente e non mediatamente come conclusioni di una dimostrazione, bisogna distinguere fra:

Negazione del carattere auto–evidente dei postulati matematici

- quelle che sono *posizioni* (*positiones*), ovvero, in termini moderni, i *postulati ipotetici del sistema deduttivo* o che si sta formulando e che, nota Tommaso, sono «postulati» proprio perché «posti da» chi elabora la teoria, e
- quelle che sono propriamente le *proposizioni massime o assiomi* (*dignitates* li definisce Tommaso, che è la traduzione latina esatta di «assioma»: ἄξιος (*axios*) dei greci in latino è reso da *dignus*), ovvero, in termini moderni, gli assiomi metalinguistici della logica e del linguaggio ordinario in cui si parla del linguaggio formale che si sta formulando. Tali proposizioni massime, nota giustamente Tommaso, devono essere condivise anche da chi non ha formulato la teoria, ma la sta apprendendo, pena l'impossibilità di comprendere il carattere necessitante delle proposizioni del linguaggio formale di cui si sta parlando.

Carattere autoevidente del primitivo dell'ente ed immediata derivazione del p.d.n.c.

> Per comprendere tale distinzione – continua Tommaso – bisogna sapere che qualsiasi proposizione il cui predicato è necessariamente implicato nella definizione del soggetto (*cuius predicatum est in ratione subiecti*: e tali proposizioni non sono solo le tautologie, come pensano i moderni da Leibniz in poi, *N.d.R.*) sono *immediate e per se note*, rispetto a se stesse.
> Ora, i *termini* di certune proposizioni sono tali da essere conosciuti da tutti, come *ente, uno* e tutte quelle cose che competono all'ente in quanto ente (i «trascendentali» *N.d.R.*): infatti l'ente è la prima nozione concepita dall'intelletto. Quindi è necessario che tali proposizioni siano per se note non solo in se stesse, ma *in qualche modo* (*quasi*: si noti la saggia prudenza di Tommaso, *N.d.R.*) *anche per tutti* (*quoad omnes*). Sono di questo tipo proposizioni come: *è impossibile che la medesima cosa sia e non sia*, oppure *il tutto è maggiore della sua parte*, e simili. Questi e altri principi siffatti vengono attinti da tutte le scienze dalla metafisica, il cui oggetto è considerare l'*ente* in assoluto e tutto ciò che ad esso compete (*In Post. An.*, I, v, 50).

Distinzione fra formulazione metalogica e metafisica dei «primi principi»

Si noti innanzitutto lo stretto rapporto fra *metalogica* e *metafisica*. Apparentemente gli assiomi sono i medesimi, p. e.s. il p.d.n.c.. Occorre tuttavia non farsi trarre in inganno: il p.d.n.c. in metalogica non ha per oggetto enti, ma proposizioni, ovvero una classe particolare di enti, che sono *enti linguistici* e più profondamente e generalmente gli *enti logici*. Formulazioni del p.d.n.c. in metalogica (logica delle proposizioni) saranno dunque del tipo di quelle proposta da Bochenski nel suo manuale:

È vero che $p$ esclude *non* $p$, in simboli: $p \mid \sim p$

ovvero la sua forma equivalente:

Non è vero che $p$ e *non* $p$, in simboli: $\sim(p \cdot \sim p)$

dove $p$ è una variabile proposizionale (Bochenski 1995, 68).

Altre formulazioni (Cfr. Bochenski 1995, 129) come legge metalogica del p.d.n.c. sono quella di *logica dei predicati:*

$$\forall x,P \ \sim(Px \cdot \sim Px)$$

ove $P$ è un predicato o quella di *logica delle classi*:

$$\forall x,\mathbf{A} \ \sim(x \in \mathbf{A} \cdot x \notin \mathbf{A})$$

ove **A** è un simbolo di classe. Queste sono formulazioni logicamente molto pesanti perché suppongono una logica del second'ordine, visto che si quantifica non solo sulle variabili di funzioni proposizionali, ma anche sulle costanti (sui segni di predicato $P$ e di classe **A**).

Vi è infine un'ultima formulazione logica possibile del p.d.n.c., quella in *logica delle identità*:

$$\forall x \ \sim (x \neq x)$$

Ben diversa è la formulazione del p.d.n.c. appena dataci da Tommaso come *legge metafisica* (o *ontologica*) che non riguarda cioè solo enti logico–linguistici (= legge metalogica), ma qualsiasi ente in quanto ente (= legge metafisica):

*È impossibile che la medesima cosa sia e non sia*

Carattere peculiare del p.d.n.c.

In ogni caso delle «proposizioni massime», che sono le leggi metalogiche e metafisiche ricordate da Tommaso, solo il p.d.n.c. si può dire che, alla luce degli attuali sviluppi della logica formale, abbia conservato quella caratteristica di essere non solo per sé noto, ma anche *universalmente indispensabile* per qualsiasi metalinguaggio, così da mantenere in qualche modo quel vestigio di autoevidenza, che seppur con saggia prudenza Tommaso voleva attribuirgli nel passo appena citato. Di tutte le altre «proposizioni massime» di solito citate da Tommaso e dai medievali

(«principio del terzo escluso», «principio di identità», «principio di causalità» e quello ricordato esplicitamente da Tommaso nell'ultimo testo citato, il «principio di totalità») è impossibile oggi dire che siano autoevidenti. Volta per volta il loro uso in determinate teorie metalinguistiche deve venir discusso e giustificato.

Carattere non autoevidente di altri assiomi metalinguistici

P.es., riguardo il principio del terzo escluso, esistono delle limitazioni alla sua universalità in logica della meccanica quantistica e in logica matematica di tipo intuizionista. Ugualmente il principio di totalità non può essere formulato più alla maniera in cui faceva Tommaso e i medievali, ma nella formulazione più blanda e quasi tautologica «*il tutto non è mai identico ad una sua parte*» dopo che Cantor ha dimostrato che, quando abbiamo a che fare con insiemi infiniti il tutto può non essere affatto «maggiore» della sua parte. P.es., gli infiniti numeri naturali che sono quadrato di altri numeri sono certamente una parte della totalità dei naturali eppure non sono né di più né di meno della totalità infinita dei naturali, visto che ne esistono tanti quanti i naturali stessi. Si tratta cioè di due insiemi infiniti «equipotenti» o che hanno la medesima «cardinalità», un medesimo numero cardinale può cioè denotare queste due molteplicità. Lo stesso si dica per l'insieme infinito di punti che costituiscono un segmento di retta e per quelli che costituiscono la retta stessa. Quindi una totalità non può essere mai identica alla sua parte, nel senso che per definizione una parte *non è* la totalità cui appartiene (i numeri quadrati non sono tutti i naturali, o un segmento di retta non è tutta la retta). Ma non è affatto vero che sempre, dal punto di vista del numero cardinale («cardinalità» o «potenza» di un insieme) degli elementi che costituiscono una parte e la totalità cui essa appartiene, il tutto sia maggiore della parte. Cantor ci ha insegnato che negli insiemi infiniti questo non si dà mai.

I paradossi dell'assioma di totalità

Una totalità infinita può essere posta in corrispondenza biunivoca con («è equipotente a») una sua parte propria, anzi è questa la proprietà caratteristica di tutti gli insiemi infiniti. I punti del segmento possono essere messi in corrispondenza biunivoca con la totalità della retta infinita cui appartiene, l'insieme dei numeri naturali — lo zero e tutti numeri interi maggiori di zero — con quello dei numeri razionali — i decimali finiti compresi fra zero e uno. Addirittura l'insieme di tutti gli insiemi *numerabili*, ovvero equipotenti all'insieme dei naturali (l'insieme dei naturali, dei razionali, dei relativi e di tutti gli altri insiemi infiniti equipotenti ai naturali) è a sua volta numerabile. D'altra parte — e questa è un'evidenza ovvia per tutti e nota anche agli antichi — i numeri che sono quadrati di altri numeri non sono né di più né di meno dei numeri naturali: le due totalità infinite sono due insiemi equipotenti. Eppure, i numeri quadrati sono un sottoinsieme di quelli naturali: non tutti i naturali sono quadrati di altri numeri naturali. Viceversa — e qui l'evidenza non basta più — non può essere posto in corrispondenza

non può essere posto in corrispondenza biunivoca l'insieme dei numeri *reali* (l'insieme dei naturali, dei razionali, degli irrazionali e dei trascendenti) con l'insieme dei naturali. L'insieme dei reali è «più potente», ha una cardinalità superiore a quella dei naturali.

In ogni caso per tutti i cultori neo–scolastici dell'evidenza metafisica due cose devono essere ben chiare:

Per Tommaso ciò che sono autoevidenti non sono gli assiomi, ma i primitivi e, innanzitutto, la nozione primitiva per eccellenza: quella di essere

- Per Tommaso, ciò a cui potremmo attribuire la nozione di evidenza o autoevidenza nell'accezione moderna non sono di per sé proposizioni costruite (assiomi o principi che siano), bensì alcuni *primitivi* con cui le proposizioni di un qualsiasi linguaggio e quindi anche quelli del linguaggio formale di una qualsiasi teoria scientifica vengono metalinguisticamente dichiarati (per la distinzione fra «primitivo» e «assioma» vedi la voce di glossario: *linguaggio formale**). In particolare il primitivo autoevidente più fondamentale è il termine semantico metafisico e metalinguistico più universale, quello di *ente*. Che poi oggi raramente il termine «ente» venga correttamente dichiarato come primitivo nella formalizzazione di una qualsiasi teoria scientifica è un fatto. Ma non certo perché qualcuno abbia o possa avere di che obbiettare al riguardo, visto che qualsiasi oggetto di cui si parla nella teoria e qualsiasi parte della teoria stessa oltre che la teoria medesima è, evidentemente, «ente». Semplicemente non si dichiara quasi mai l' «ente» fra i primitivi perché quasi sempre non è indispensabile farlo per la correttezza formale del linguaggio e quindi per la comprensibilità della teoria. O come suggerisce Tommaso in un altro passo molto vicino a quello citato (Cfr. (*In Post. An.*, I, xviii, 158), perché alcune nozioni sono talmente note che sono banalmente supposte ovunque.
- Propriamente i principi o assiomi che possono essere ragionevolmente supposti in ogni teoria scientifica sono *assiomi* metalogici e/o metafisici. Così è, per esempio, il caso del p. d. n. c. Infatti, anche in linguaggi formali che suppongono eccezioni ad esso, il metalinguaggio in cui la consistenza e/o la verità di siffatto linguaggio–oggetto vengono espresse o dimostrate deve necessariamente supporlo.

Molteplicità delle diverse interpretazioni della nozione di ente e carattere non autoevidente della metafisica

Dire allora che «ente» è una nozione autoevidente, può essere pienamente accettabile. In tale contesto è assolutamente vero l'asserto tomista che fa dell'*ens* il *primum cognitum* in qualsiasi teoria epistemologica o gnoseologica (Cfr. p.es., Tommaso d'Aq., *In de Ver.*, I, 1c). Ma questo non significa che sia né vero né asserito da Tommaso che né il significato che attribuiamo metalinguisticamente al primitivo «ente» né la teoria metafisica che a tale significato è sottesa è ugualmente autoevidente. Difendere

la verità di una qualsiasi teoria metafisica e men che mai di quella tomista mediante la sola autoevidenza della nozione metalogica di ente e quella dell'assioma ad essa collegato del p.d.n.c. non porta né può portare da nessuna parte. Le varie teorie metafisiche possibili, dipendenti da diverse interpretazioni che si possono dare alla nozione di ente, sono dunque teorie la cui consistenza, coerenza e verità devono essere opportunamente giustificate o dimostrate, come per qualsiasi altra teoria scientifica. Nessuna di essa può pretender di esaurire *tutta la verità* e di non essere comunque *perfettibile* (Cfr., sopra, § 3.1.1, spec. p. 185).

Limite dell'interpretazione neo-scolastica dei rapporti fra visione classica e moderna della scienza

Dunque, la chiave di volta dell'intera questione del rapporto fra la nozione moderna di scienza legata al paradigma delle scienze matematiche e naturali e quella classico - medievale e tomista in particolare legata al paradigma metafisico consiste proprio nel non accettare la premessa posta da Maritain in questo passo. La scienza in generale e la metafisica in particolare non è una forma di conoscenza superiore (tralasciamo il «perfetta» di Maritain: dopo i teoremi di incompletezza di Gödel, la perfezione è tornata ad essere come nel Medioevo una proprietà che non ha nulla a che vedere con la conoscenza umana, anche e soprattutto scientifica) perché si sviluppa sotto la «costrizione dell'evidenza» per poi passare, mediante la procedura dimostrativa, dall'evidenza «immediata» dei principi a quella «mediata» delle conclusioni.

Nascita del paradigma cartesiano-kantiano di scienza fondato sull'evidenza

Al contrario, la differenza fra paradigma classico–medievale e moderno di scienza è legata al fatto che, originariamente, il paradigma moderno di scienza si è erroneamente basato su una particolare epistemologia dell'autoevidenza degli assiomi della geometria, prima, e della meccanica newtoniana, poi, invece che su un'adeguata metalogica degli enunciati scientifici. Un'epistemologia dell'evidenza che da Descartes si è preteso di estendere mediante il principio delle «idee chiare e distinte» a tutta la filosofia e alla stessa metafisica, fino ad arrivare in Kant alla negazione stessa della possibilità della metafisica come scienza. Tale negazione, mediante il cosiddetto metodo trascendentale moderno, poneva nell'*autocoscienza*, come presupposto epistemologico dell'evidenza, il fondamento ante - predicativo della consistenza formale o coerenza (non certo della verità) degli enunciati scientifici delle scienze matematiche e naturali, affermando che le *categorie* o predicati ultimi e più universali di tutti in ogni forma di conoscenza razionale e di linguaggio formale, altro non fossero che *modi universali di manifestazione* dell'autocoscienza e della sua funzione *formale* di *unificazione* e *ordinamento* dei contenuti empirici.

In tale contesto, la stessa nozione di *ente*, veniva ridotta a categoria, la cosiddetta categoria kantiana dell'*esistenza*, come nell'enunciato «$x$ esiste». L'essere cioè, da contenuto semantico ultimo e trascendentale, ovvero sempre e comunque antepredicativamente posto in ogni conoscenza ed

in ogni forma di linguaggio scientifico o meno, veniva ridotto a concetto formale universale (genere generalissimo) svuotato di ogni contenuto semantico e quindi di ogni riferimento all'oggetto della conoscenza stessa e/o al referente dell'enunciato predicativo.

Crisi del paradigma cartesiano-kantiano di scienza

Da allora il pensiero epistemologico moderno ha compiuto però degli enormi passi in avanti nella direzione di un inconsapevole recupero del paradigma classico di scienza. Innanzitutto, a partire dallo stesso Kant della *Critica del Giudizio* è andato sempre più emergendo in filosofia il carattere *volontaristico* del principio di evidenza, inteso come fondamento trascendentale del pensiero razionale e/o scientifico fino agli estremi del volontarismo di Schopenauer e del nihilismo di Nietzsche. Simultaneamente:

- la scoperta delle geometrie non–euclidee al principio del secolo scorso;
- la limitazione del paradigma newtoniano di scienza fisico–matematica;
- la conseguente assiomatizzazione delle scienze logiche, matematiche e naturali che considera gli assiomi delle medesime non più come autoevidenti e quindi apodittici (sempre e comunque veri), ma solo ipotetici (veri sotto determinate condizioni)

hanno svelato nel santuario stesso della scienza «cartesiana» e «kantiana» l'inconsistenza della nozione di autoevidenza per assiomi che non fossero quelli del tipo del p.d.n.c.

Ma, appunto di che «tipo» sono assiomi come il p.d.n.c.? Per rispondere a questa domanda bisogna ricordare l'altro evento fondamentale: la nascita della logica matematica e la conseguente distinzione in essa fra «linguaggio» e «metalinguaggio». Ovvero la distinzione fra il *linguaggio - oggetto* dell'analisi logica e il *metalinguaggio* della teoria logica con cui si effettua l'analisi e studiare attentamente come ed in che senso essa si applichi anche alla teoria metafisica classica ed in particolare a quella tomista (Cfr. *infra* § 6.1, pp. 409ss.). Prima però di affrontare questo punto, sintetizziamo brevemente cosa Tommaso intendeva con la nozione di «trascendentali dell'essere», in quanto contrapposti alla nozione moderna di «trascendentale del pensiero», ovvero all'autocoscienza dei moderni, come fondamento dell'universalità e verità della conoscenza.

### 5.6.2 Tavola tomista dei trascendentali

La nozione tomista di trascendentale: l'essere e i suoi modi

Possiamo dire che il problema dei trascendentali si pone quando ci si interroga sul fondamento della verità delle predicazioni e delle categorie, quindi, rispetto alla mente umana, sul fondamento della verità delle concettualizzazioni. La differenza fra il pensiero classico e quello moderno, in particolare kantiano, su questo punto è fondamentale. Per il pensiero classico il trascendentale è *l'essere dell'ente* e le altre sue determinazioni trascendentali o *modi (specifici e generali) di essere dell'ente.*

La nozione kantiana di trascendentale: il pensare e i suoi modi

Per il pensiero moderno il trascendentale è il pensare autocosciente e i diversi *modi di pensare*, quello che Kant definiva l'«Io–penso–e–basta» (*Ich denke überhaupt*). Per Kant l'unificazione delle esperienze in un concetto dipende dall'atto unificante del pensiero autocosciente, di un pensare inteso come pura struttura logico-formale del ragionamento, vuota di qualsiasi contenuto: l'«Io-penso» e non l'«Io-penso-qualcosa» della successiva analisi intenzionale dell'atto di coscienza della scuola fenomenologica. L'universalità della conoscenza dipende dunque per Kant dal fatto che esistono dei *modi universali di pensare.* Ovvero che esistono dei modi universali di divenire autocoscienti delle proprie sensazioni, unificandole dapprima in fenomeni quindi in concetti e categorie. Prova della verità di questa supposizione era l'assunto che esistessero delle leggi universali *autoevidenti* (= che si impongono necessitativamente alla coscienza) del pensiero scientifico, quali erano i postulati della geometria euclidea o le tre leggi della dinamica di Newton, da cui tutto il rigore della scienza moderna delle origini derivava tutto il suo potere universalizzante descrittivo e predittivo.

Crisi del principio di evidenza: ha portato a scoprire che il vero trascendentale moderno non è il pensare, ma il volere

Finché il modo di pensare logico-matematico della scienza moderna è stato *unico* (unicità della geometria euclidea e della fisica newtoniana) la «rivoluzione copernicana» operata da Kant (porre il modo di pensare del soggetto e non il modo di essere dell'oggetto a fondamento delle categorie e dei concetti) sembrò poter tutto sommato garantire universalità e necessità logiche. Invece, con l'assiomatizzazione delle matematiche e della logica — ovvero, con la scoperta che era possibile costruire sistemi logico-formali coerenti cambiando gli assiomi —, che moltiplicò i modi di pensare «scientifici» della modernità, divenne sempre più chiaro che, dal punto di vista del trascendentale moderno, avevano ragione Schopenauer e Nietzsche. Se non si accetta il modo classico di pensare, se non si pone a fondamento della verità degli assiomi l'oggetto, l'ente che s'intende studiare all'interno di un determinato sistema assiomatico, riscoprendo, nel contempo in logica *il metodo analitico* come insieme di regole per la definizione e la costruzione di assiomi (Cellucci 1998), il trascendentale moderno non è l'*io penso e basta,* ma *l'io voglio e basta.* La scelta

degli assiomi diviene puramente *arbitraria* facendo regredire il pensiero occidentale ai sofisti, a prima, addirittura, di Platone e Aristotele, secondo quanto il già citato manifesto neo–positivista di Carnap e Neurath hanno affermato.

Se non si pone l'essere dell'essenza a fondamento della verità dell'assioma, la scelta dell'assioma diviene arbitraria

Una volta posto che il fondamento del pensiero scientifico, ovvero l'assioma, è tutt'altro che un verità che si impone all'autocoscienza di ciascun individuo, ma dipende da una scelta *arbitraria* del soggetto, risultò chiara una lapalissiana verità. Il vero trascendentale moderno, non è il modo di pensare, ma di *volere*, non è «l'Io-penso-e-basta», ma «l'Io-voglio-e-basta». Infatti, se fosse vero che i diversi possibili, coerenti, modi di pensare dipendono non dall'*unità trascendentale*, dall'individualità irriducibile di ogni ente, ma dall'unificazione operata a priori dalla coscienza mediante la definizione di assiomi, i diversi modi di pensare verrebbero a dipendere ultimamente dalla volontà che determina arbitrariamente gli assiomi e quindi i diversi «punti di partenza» delle distinte concettualizzazioni scientifiche e filosofiche.

L'esito è il volontarismo e il nihilismo attuali del «pensiero debole».

Per questo il trascendentale moderno conduce direttamente al *volontarismo* e al *nichilismo* attuali, ovvero al cosiddetto «pensiero debole». Ecco perché oggi diventa improrogabilmente urgente controllare se sussistono ancora validi i motivi storici e teoretici che portarono alla rinuncia da parte della cultura occidentale al trascendentale classico.

L'esposizione fondamentale dei trascendentali tomisti nel *De Veritate*

Così, seguendo l'esposizione di Tommaso sui trascendentali contenuta nelle sue *Quaestiones Disputatae De Veritate* (I,1), il punto essenziale da risolvere è quello se la nozione di «essere» si identifichi del tutto con quella di «vero». Ovviamente, la risposta di Tommaso è *negativa*. Se infatti l'essere si identificasse completamente coll'esser-vero, siccome l'esser-vero dipende dall'intelletto e l'azione dell'intelletto da un atto di volontà (*voluntas vult intellectum intelligere*), ecco che ricadremmo nello stesso problema che affligge la modernità. Fondare la verità e lo stesso essere sulla costitutività dell'«io trascendentale», di un atto di coscienza che — come ha già denunciato Heidegger — si riduce al volontarismo nihilista di uno sterile «volere di volersi». *Voluntas vult se velle*, «la volontà vuole volersi», come già Tommaso evidenziava nella sua psicologia metafisica dell'atto di volontà.

L'essere è la prima nozione dell'intelletto cui nessun predicato può aggiungere nulla. L'essere non è un genere logico

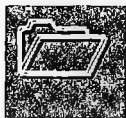
È l'*essere* il punto di partenza di ogni conoscenza, e quindi il fondamento trascendentale di ogni concetto, categorie comprese, oltre che il contenuto intenzionale di ogni atto intellettivo e volontario. Un contenuto che il soggetto intelligente e volente trova *già sempre costituito* dinanzi a sé e non certo costituisce col suo atto. Infatti, dice Tommaso, ogni conoscenza ed ogni definizione o concetto dell'intelletto possono essere ridotti ad una pura e semplice aggiunta di un *predicato* (p.es., albero, uomo,

casa...) alla forma verbale elementare «*esso è*...». Nondimeno, questi predicati non si «aggiungono» all'essere come delle «differenze specifiche» (p.es.: «razionale») si aggiungono a un «genere» (p.es.: ad «animale», nella definizione di uomo come «animale razionale»). All'essere nulla può essere aggiunto o tolto perché esso tutto contiene. In altri termini, *l'essere non è un genere,* ovvero non è il concetto più generico che contiene tutti gli altri concetti come sue specificazioni[144].

Le diverse specificazioni dell'essere non aggiungono nulla, all'essere, ma articolano diversi modi di essere

Viceversa, le specificazioni aggiunte all'essere *semplicemente articolano differenti «modi di essere»,* proprio come la «forma» articola differenti modi di essere *uno* delle parti materiali di un'essenza di un ente fisico. Questi modi di essere costituiscono così la cosiddetta *tavola tomista dei trascendentali dell'essere,* quelle uniche nozioni auto–evidenti che esplicitano diverse connotazioni *equivalenti* ma non *identiche* del termine «ente» in quanto contenuto antepredicativo *primitivo,* antepredicativo, rispetto a qualsiasi altra distinzione predicativa, categoriale, con cui distinguere i vari enti fra di loro. Tommaso riconosceva così nei trascendentali altrettanti *termini primitivi* comuni a qualsiasi tipo di linguaggio, quelli formalizzati delle varie scienze, innanzitutto.

I trascendentali come termini primitivi di ogni linguaggio

Ecco l'inizio del testo fondamentale del *De Ver.,* 1,1 dove Tommaso elenca i trascendentali e da dove appare chiarissimo che essi costituiscono per lui i «termini primitivi» più fondamentali di ogni linguaggio. In questo paragrafo non faremo altro che commentare il resto del *corpus* dell'articolo del *De Veritate* di cui stiamo citando qui l'inizio. Afferma dunque Tommaso:

> Come nelle proposizioni dimostrabili bisogna operare la riduzione a qualche principio per sé noto all'intelletto, così bisogna fare quando si ricerca «il che cos'è» (*quidditas:* la definizione) di una certa cosa, altrimenti in entrambi i casi si andrebbe all'infinito, e così verrebbero meno del tutto la scienza e la conoscenza delle cose (ovvero verrebbe meno la funzione semantica dei linguaggi, quelli formalizzati innanzitutto, *N.d.R.*). Ora ciò che innanzitutto l'intelletto concepisce come la cosa più nota di tutti ed in cui risolve tutti i concetti è l'ente (la nozione più primitiva di tutte in qualsiasi linguaggio, *N.d.R.*) (...) per cui è necessario che tutti gli altri concetti dell'intelletto siano ottenuti per aggiunta all'ente. Ora all'ente non si può aggiungere niente come estraneo, al modo in cui la specie si aggiunge al genere o l'accidente alla sostanza, perché ogni natura è l'ente predicato a modo di essenza (*essentiali-*

[144] L'identificazione dell'essere con un genere è la radice di tutti i *razionalismi*, tanto materialisti come idealisti di *tutta* la storia del pensiero occidentale e la dimostrazione dell'inconsistenza logica di una tale idea che caratterizza il pensiero contemporaneo, è la radice del *nichilismo* e della credenza nell'impossibilità di una *metafisica*. Il nichilismo non è la morte della metafisica, ma *la definitiva morte di un certo modo di fare metafisica*: quello *razionalista*.

> *ter:* come predicato di un soggetto individuale, *N.d.R.*), come anche il Filosofo prova nel III libro della *Metafisica.* Si dice invece che alcune cose aggiungono qualcosa all'ente *in quanto esprimono un modo dello stesso ente che non è espresso dal nome di ente.* Il che accade in una duplice maniera. Innanzitutto quando il modo espresso è *un qualche modo speciale dell'ente.* Vi sono infatti diversi gradi di entità (*entitas*)[145] secondo i quali si prendono i diversi modi di essere (esistere, *N.d.R.*), *e secondo questi modi si prendono i diversi generi delle cose.* Per esempio, la sostanza non aggiunge all'ente qualche differenza che designi qualche natura sopraggiunta all'ente, ma col nome di sostanza si esprime semplicemente un certo speciale modo di essere (esistere, *N.d.R.*), cioè l'essere per sé, e così è per tutti gli altri generi. La seconda maniera si ha quando il modo espresso è un modo *generale dell'ente*...

Rimandando al prossimo capitolo l'ulteriore approfondimento della fondamentale distinzione tomista fra essere come «entità» (*entitas*) ed essere come «esistenza» (*existentia),* soffermiamoci nell'altra qui introdotta fra modi «speciali» e «generali» di dire l'essere.

Equivalenza, ma non identità fra i trascendentali

Complessivamente è bene, di nuovo, ricordare che si tratta di tutte nozioni fra loro *equivalenti**, nel senso che la classe di oggetti cui si applica una di queste nozioni è la stessa cui si applica ognuna delle altre. Ciò non significa che queste nozioni sono *identiche**. Sono infatti nozioni con significato diverso: ognuna di esse dice dei significati diversi dell'unico termine «ente». P.es., quando dico che ogni ente è «uno», sto dicendo che «è indiviso in se stesso», una nozione questa che non è espressa colla semplice formula «essere ente». Oppure quando dico che ogni ente è «cosa», sto dicendo che «ha una certa essenza», una nozione questa che non è espressa colla semplice formula «essere ente», etc.

Ed ecco l'insieme della tavola tomista dei trascendentali, secondo una visione schematica di essa, ricostruita a partire dalla continuazione del brano iniziale del *De Veritate* appena citato.

Nozioni trascendentali sono nozioni equivalenti, ma non identiche alla nozione di ente

Dunque, afferma Tommaso, ci sono dei termini equivalenti alla nozione di «ente», che sono auto–evidenti quanto questa nozione, ma che esprimono dei «modi di dire l'essere di un ente» che la nozione di ente da sé

---

[145] Questa gradualità *intensiva* del contenuto di essere di un ente in base alla sua essenza dipende dalla ricchezza di proprietà dell'essere dell'essenza di un ente rispetto a un altro. P.es., l'essere dell'essenza di un uomo (la sua entità umana) è molto più ricca di quella di un qualsiasi animale (la sua entità animale). D'altra parte, nel linguaggio comune è rimasta una traccia di questo modo di intendere mediante il termine «entità» la gradualità *intensiva* dell'essere di un ente, p.es., in espressioni del tipo «l'entità del danno era maggiore (dell'entità) delle risorse a disposizione», oppure quando si parla di «entità del premio», di una somma di denaro, etc.

sola non è in grado di esprimere. Tali modi si suddividono in due fondamentali:

- In un *modo speciale di essere*, ovvero, secondo la specifica *entità* o grado intensivo di essere di *ciascun ente* (p.es., essere–uomo, essere–cavallo, essere–vivente, essere–numero, etc. Cfr. nota 145). Questa dell'entità è la distinzione più importante e più fondamentale. In sintesi Tommaso ci sta dicendo che ogni linguaggio deve dichiarare in maniera esplicita di quale specie di enti esso generalmente tratta. P.es., la biologia si occuperà degli «enti–viventi», l'aritmetica degli «enti–numerici», la logica degli «enti–logici», la fisica degli «enti–fisici», etc.

- In *modi generale di essere*, comuni a tutti gli enti. Cioè, qualsiasi linguaggio, qualsiasi sia la specie di enti di cui si occupa, di fatto tratterà di enti che sono tutti «cose», che sono tutti «in sé delle unità», che sono tutti in qualche grado, anche nullo, «veri», che sono tutti in qualche grado, anche nullo, «dotati di valore», etc.. Più esattamente, rispetto a questi modi generali di essere:

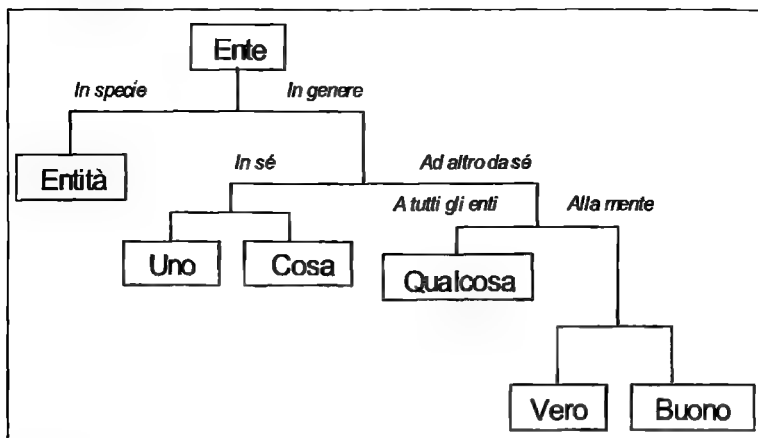



Tavola IV. Schema riassuntivo dei trascendentali dell'essere secondo S.Tommaso d'Aquino.

- *Rispetto a se stesso* (= in sé), un ente è:
  - Affermativamente una generica **cosa**, ovvero genericamente dotato di una qualsiasi essenza o natura;
  - negativamente un indiviso, un **uno**, ovvero un'*unità trascendentale* o *individualità* (si tratta dell'«uno trascendentale» in quanto fondamento dell'«unità formale» e dell'«unità quantitativa» di un ente).

- *Rispetto ad altro da sé* (= ad altro), ogni ente:
    - *rispetto a* qualsiasi *altro ente*, è **qualcosa**, ovvero una «cosa qualificata», qualitativamente distinta[146]. Invece,
    - rispetto ad un ente che può entrare in relazione con qualsiasi altro ente, ovvero rispetto alla mente (umana o altra), ogni ente:
        - è (più o meno) **vero**, in quanto oggetto di diversi gradi e modalità di conoscenza da parte dell'intelletto
        - è (più o meno) **buono**, è dotato cioè di un certo *valore*, in quanto si pone in diversi modi in relazione con la volontà

L'essere dell'ente è dunque al fondamento tanto della verità scientifica, quanto del valore etico, ma non si identifica né con il «vero» (= razionalismo) né col «valore» (= volontarismo, nichilismo)[147].

Il «vero» perciò non s'identifica con l'«essere», anche se sono nozioni equivalenti

Dunque, *il vero non si identifica con l'essere*, perché il vero non è semplicemente l'essere, ma l'essere dell'ente posto in relazione con l'intelletto. Se l'essere si identificasse al vero, ne nascerebbe l'assurdo che l'essere di una cosa dipende dalla sua relazione con l'intelletto umano che la *conosce*, ma, ancora più radicalmente, che *vuole* conoscerla. Cadremmo cioè di nuovo nell'assurdità del trascendentalismo moderno, il quale, avendo

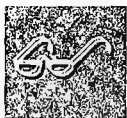
[146] «In tal modo, come ogni ente è definito 'uno' perché è indiviso in sé stesso, così è definito anche 'qualcosa' perché è diviso rispetto ad altro da sé» (*In De Ver.* 1,1, resp.). Questa osservazione di Tommaso è essenziale. Infatti, il limite del razionalismo consiste essenzialmente nell'identificare platonicamente il fondamento dell'unità o individualità dell'ente realmente esistente (*questo* albero, *quest'*uomo, etc.) nella sua *unità formale*. Ma questo implica necessariamente la compresenza di *tutti* gli altri enti rispetto ai quali l'ente in questione si diversifica come *unico*. Se è così, l'individualità dell'ente non è mai fondata, a meno che la mente umana non abbia capacità divinatorie di conoscenza della totalità assoluta. La genialità della sintesi tomista è di aver legato l'*individualità* all'*in sé* di un ente, e non al suo *essere rispetto ad altro*. Questo è *essenziale in antropologia*: l'individualità personale non è legata alla *relazionalità ad altri*, altrimenti né l'embrione, né il malato in coma, sarebbero individui personali. L'individualità di un ente, di ogni ente, uomo compreso, è legata al suo *essere in sé* e dunque, come vedremo, al suo *atto d'essere*. Sono le relazioni a fondarsi sull'individualità in sé della sostanza, non viceversa. Solo nella SS.ma Trinità è vero il contrario: le Persone divine sono *relazioni sussistenti*, ma guai a confondere ordine soprannaturale con quello naturale. Il cosiddetto *dialogo* è proprietà, facoltà dell'essere personale dell'individuo umano, ma non fonda questo essere, al massimo cerca di esprimerlo. Nondimeno, ogni persona umana si caratterizza per una *radicale incomunicabilità del suo essere* profondo o "essere in sé", e qui è la radice di tutto il suo *mistero*, di tutta la sua *dignità* e, perché no, di tutta la sua *inarrivabile bellezza*!

[147] Ricordiamo che, come giustamente afferma Heidegger, la riduzione dell'essere a valore, la riduzione di «ciò che è» a «ciò che *voglio che sia*», è la radice del nichilismo.

preteso di fare della coscienza una sorta di moderna «creatrice» dell'essere, prima con l'intelletto auto–cosciente, poi con la volontà, si è ritrovato col «niente» del nichilismo in mano. La metafisica, essendo una scienza, chiede alla fine sempre il conto degli errori di impostazione commessi.

Trascendentali come fondamenti ante–predicativi dei predicati e delle categorie innanzitutto

In conclusione, ***essere***; *essere* ***cosa*** *ed essere* ***uno***; *essere* ***qualcosa***; *essere* ***vero*** *ed essere* ***buono*** sono le *determinazioni trascendentali* «generali» di ogni ente. «Generali» nel senso che si applicano a ogni ente sia esso una specie o un'altra di sostanza, o di accidente. P.es., l'«esser-cavallo» o l'«esser-albero» sono due modi *specifici* distinti di essere sostanza, due «entità» distinte, ciascuna di esse però è *generalmente* un «esser-cosa», un «esser-uno», un «esser qualcosa», etc.. I trascendentali, dunque, non sono *modi di pensare o di volere* (= trascendentale moderno), ma *modi di essere* (= trascendentale classico). E questi modi di essere dell'ente sono il fondamento del modo di pensare e di definire quell'ente secondo diverse categorie concettuali, tipiche dei vari linguaggi, nonché il fondamento dell'attribuzione di valore a quell'ente così da divenire oggetto di desiderio (o rifiuto) da parte della volontà.

## 5.7 Sommario del quinto capitolo

Nel Quinto Capitolo abbiamo cercato di delineare una storia sommaria di alcune problematiche metafisiche nel pensiero classico, che ci aiutassero ad evidenziare la novità della metafisica di Tommaso dell'essere come atto ed insieme la sua continuità con i massimi rappresentanti del pensiero filosofico greco: Platone ed Aristotele. Ciò al fine di evidenziare la svolta epocale che si è avuta con la nascita del pensiero moderno, innanzitutto rispetto alla tematica metalogica e metafisica. In particolare rispetto alla nozione di *verità* e di *essere* ed ai loro fondamenti logici ed ontologici (§ 5.1.1).

In § 5.1.2 abbiamo visto le origini della riflessione filosofica occidentale nell'opera dei cosiddetti φυσικοί, i filosofi «fisici» della scuola di Mileto nell'Asia Minore, Talete, Anassimene, Anassimandro, che ricercavano l'ἀρχή, il «principio» in elementi della natura fisica. In § 5.1.3 abbiamo sommariamente ricordato come questa riflessione razionale sulla natura delle cose si è spostata nella Magna Grecia, coagulandosi nella metafisica numerica di Pitagora e della sua scuola. Grazie ad essa, si può dire che si sia sviluppata la prima forma di scienza matematica dell'Occidente.

In § 5.1.4, ci siamo brevemente confrontati con l'autore che a ragione può essere ricordato come il primo vero metafisico dell'occidente, Par-

menide di Elea, grazie al quale la riflessione metafisica sull'essere e la sua complessa ma fondamentale relazione con le leggi logiche, in particolare il p.d.n.c., vengono per la prima volta messe al centro dell'indagine. D'altra parte la mancanza di distinzione in Parmenide fra *ente logico* ed *ente fisico* e la conseguente *interpretazione univoca* della nozione di «ente», ovvero l'impostazione razionalista della sua metafisica, lo portano a definire tre paradossali conseguenze della sua ontologia: la contraddittorietà della *molteplicità quantitativa*, della *diversità qualitativa*, del *divenire*. La risposta a queste tre provocazioni costituirà il *leit motiv* della più alta riflessione metafisica del pensiero greco.

In § 5.2 abbiamo esaminato l'atomismo metafisico di Democrito. In § 5.2.1 abbiamo visto come le nozioni di «materia» e di «vuoto» possano fornire una risposta piena al primo problema di Parmenide (mostrare la non–contraddittorietà della molteplicità quantitativa), e parziale al terzo problema di Parmenide (mostrare la non contraddittorietà di una forma particolare di divenire, il «moto locale»). L'assolutizzazione di queste due risposte, in particolare la riduzione della diversità qualitativa alla molteplicità quantitativa e di tutte le forme di divenire al solo moto locale, conducono *all'atomismo metafisico* di cui Democrito è il primo autorevole rappresentante nella storia del pensiero occidentale (§ 5.2.2).

La giustificazione di una metafisica della forma e della qualità si deve alla filosofia di Platone (§ 5.3). È a lui che si deve infatti la scoperta della natura necessariamente formale, immateriale degli universali logici, o *idee*, per la loro *unicità irripetibile* (=autoreferenzialità), opposta alla molteplicità e alla iterabilità tipiche della quantità che, come ci ha insegnato Democrito, hanno il loro fondamento nella materia (§ 5.3.1). Platone, tuttavia identifica le *idee* con le *essenze* degli enti, evidentemente essendo ancora carente in lui la distinzione fra *ente logico* ed *ente fisico*. A questa essenziale carenza neo–parmenidea della sua filosofia si devono gli altri due «punti deboli» della sua metafisica, ovvero la nozione di «partecipazione formale» (§ 5.3.3), per giustificare il passaggio dall'unità formale dell'idea alla molteplicità degli enti fisici che condividono la medesima essenza specifica, nonché l'impostazione «dualista» della sua antropologia metafisica (§ 5.3.4), che fa smarrire all'uomo l'unità psicofisica del suo essere. In ogni caso, grazie alla distinzione platonica fra essere e non–essere «assoluti» e «relativi», il pensiero occidentale scopre la chiave teoretica per superare i paradossi della metafisica razionalista parmenidea, in particolare il secondo, quello relativo alla presunta contraddittorietà della diversità qualitativa. La diversità per cui l'ente *A* non-è l'ente *B* non è negazione totale dell'essere dell'ente (in questo caso *B*) ma solo della forma dell'ente *B*, proprio come il «vuoto» di Democrito era solo negazione della materia dell'ente non di tutto l'ente. Attraverso la distinzione fra es-

sere e non essere *assoluto* e *relativo,* Platone scopre così che «essere» e «ente» (e correlativamente «non essere» e «nulla») non sono nozioni univoche, ma *analoghe,* non *assolute,* ma *relative* (§ 5.3.5).

Questa scoperta («l'essere si dice in molti modi»), costituisce il punto di partenza della metafisica e della logica aristoteliche, nelle quali il pensiero filosofico greco giunge alla sua più alta maturazione (§ 5.4). Tale nozione fu applicata da Aristotele innanzitutto alla distinzione fra «ente logico» e «ente fisico» e specificamente fra «idea» o «universale logico», necessariamente immateriale o puramente formale perché autorerenziale, che esiste solo nella mente di chi lo produce, ed «essenza» o «natura» dell'ente fisico, composta di materia e di forma, che esiste non in sé (non è una sostanza) ma nei molti, al limite infiniti, individui che apparengono ad una medesima specie (§ 5.4.1).

Il chiarimento della natura «ilemorfica» delle essenze degli enti fisici e la loro non–sussistenza, aiutarono Aristotele a porre un ulteriore distinzione–chiave nella metafisica, quella fra «sostanza prima», o individuo sussistente, soggetto metafisico di tutte le proprietà o «accidenti» che lo caratterizzano, e «sostanza seconda» o «essenza» che non sussiste, ma esiste nei diversi individui che condividono la medesima essenza. Di qui l'ulteriore distinzione fra ciò che una sostanza prima (= soggetto individuale) *è* (= sostanza seconda o essenza) e le altre proprietà o attributi che una sostanza prima *ha* (= accidenti). Questa distinzione costituisce la base metafisica per la dottrina aristotelica delle «dieci categorie», fondamento ontologico della sua logica dei predicati e delle tecniche sillogistiche (letteralmente: «tecniche di combinare termini») di costituzione di proposizioni. Di associare, con diversi gradi di necessità, soggetti e predicati, mediante inferenze induttive (sillogismo induttivo e metodi analitici di ricerca del termine medio) e deduttive (sillogismo deduttivo, «dimostrativo» o scientifico, sia apodittico che ipotetico, nelle sue varie forme e figure) (§ 5.4.2).

D'altra parte, mediante la dottrina del divenire, non come passaggio dall'essere al non-essere e/o viceversa, che sarebbe contraddittorio come correttamente evidenziò Parmenide, ma «dall'essere *in potenza*» «all'essere *in atto*» di una forma in un sostrato materiale, Aristotele fornisce una risposta anche al terzo paradosso di Parmenide. Mostrò cioè la non–contraddittorietà del divenire, anche qualitativo e quantitativo, e non solo del moto locale, la cui non–contraddittorietà era stata già dimostrata da Democrito. Con ciò stesso venne superato il *riduzionismo ontologico* (qualità si riduce a quantità e il divenire a moto locale) dell'atomismo metafisico di Democrito (§ 5.4.3).

Infine, in § 5.4.4, abbiamo evidenziato un altro punto qualificante della metafisica aristotelica, di estrema importanza per la filosofia della natura, ovvero la *spiegazione causale delle essenze* degli enti fisici, attraverso una gerarchizzazione dei livelli di causalità fisica (immutabilità dei moti dei corpi celesti *vs.* instabilità dei moti dei corpi terrestri), strutturalmente simile — anche se fenomenologicamente molto diversa — a quella vigente nell'attuale fisica dei materiali per spiegare le proprietà fisico–chimiche degli elementi chimici, mediante la stabilità del nucleo di un atomo su cui non interferisce, ai bassi livelli di energia tipici delle trasformazioni chimiche, la dinamica degli elettroni del «guscio» esterno dell'atomo stesso. In tal modo, tale guscio elettronico da cui dipendono le interazioni chimiche caratterisriche di ciascun tipo di materiale, sia a livello atomico che molecolare, manifesta quella caratteristica di *stabilità, identità, specificità* che rende l'atomo di un dato elemento indipendente dalla storia interveniente dell'atomo stesso, perché le configurazioni ondulatorie permesse del guscio elettronico, allo stato fondamentale e ai vari stati eccitati quando l'atomo fosse sottoposto ad una stimolazione dall'esterno, sono sempre le stesse dipendendo esclusivamente dall'attrazione del nucleo e dagli effetti elettrici delle interazioni con gli altri elettroni dell'atomo.

La metafisica tomista dell'essere come atto si inserisce precisamente a questo punto, per risolvere una fondamentale aporia del pensiero aristotelico (§ 5.5). Il limite consiste nel fatto che la spiegazione causale delle essenze di Aristotele lascia irrisolto il problema della giustificazione dell'esistenza del sostrato individuale, della sostanzialità «prima» dell'essere di ogni individuo soggetto di proprietà. Ciò ha portato molti epigoni dell'aristotelismo, a partire dagli Stoici, dagli Epicurei e da commentatori dello Stagirita del livello di un Alessandro di Afrodisia, a fornire un'interpretazione materialista della metafisica aristotelica. A confondere cioè il *sostrato della forma*, la materia, con il *sostrato individuale* degli accidenti, *la sostanza prima*. In tal modo veniva a cadere il cuore stesso della metafisica aristotelica della natura, la distinzione fra essere in potenza della materia ed essere in atto della sostanza prima, dell'ente individuo attualmente esistente, inserendo nel nucleo portante della metafisica aristotelica un'insanabile antinomia (§ 5.5.1).

Per risolvere quest'antinomia, Tommaso elaborò la sua teoria metafisica dell'*essere come atto*, in cui la dualità atto–potenza applicata con successo da Aristotele al dittico forma–materia per la spiegazione causale delle essenze, della sostanzialità seconda dell'ente capace di sussistenza, viene esteso da Tommaso al dittico essenza–essere per una spiegazione causale di tutto l'essere dell'ente, anche della sua sostanzialità «prima». Se infatti la natura o essenza degli enti soggetti a trasformazioni (enti fisici

«terrestri») risultano ultimamente l'effetto di un'azione causale di altri enti secondo lo schema aristotelico della «doppia» causalità «terrestre»/»celeste», allora la natura o essenza di un ente è di fatto un principio «potenziale» — analogamente alla materia nella costituzione dell'essenza — rispetto all' «essere». Questo, a sua volta — analogamente alla forma nella costituzione dell'essenza — risulterà essere un principio «attuale», un «atto» — l'essere come «atto» — che, come la forma–atto rimanda ad un qualche «agente» causale.

Ogni ente fisico ha, dunque, metafisicamente, una doppia composizione atto–potenza: relativamente all'*essenza,* in quanto composto da forma e materia, e relativamente al suo *essere in assoluto,* (*esistenza* ed *entità*) in quanto composto essenza e atto d'essere. Questa duplice composizione è relativa ad *un duplice concorso causale*: a) *fisico*, mediante cui le forme materiali degli enti vengono edotte dalla potenzialità della materia attraverso l'azione causale di enti fisici; b) *metafisico*, in quanto ogni corpo o ente fisico sussistente (sostanza), dipendendo dall'azione causale di altri enti per esistere, è contingente. D'altra parte un universo composto solo di enti contingenti causati–causanti non avrebbe consistenza, se non si suppone la «causalità prima» di un Agente unico incausato, non appartenente all'universo degli enti contingenti.

Tale Principio, simultaneamente, con un unico atto, fonda la consistenza metafisica dell'intera rete causale di enti che compongono l'universo e di ciascun «nodo» di questa rete causale, ovvero la sostanzialità «prima» di ciascun corpo fisico esistente. Per denotare siffatta *fondazione metafisica* dell'essere, di tutto l'essere, essenza ed esistenza, alla quale solo analogamente può essere attribuita la nozione di «causalità», Tommaso ha coniato la nozione di «partecipazione dell'*essere*», non della *forma* come in Platone.

Praticamente, l'Essere Sussistente «fuori» dell'universo partecipa con un unico atto l'essere all'intero universo materiale, sebbene i diversi tipi di enti fisici che lo compongono possano venire all'esistenza, in diversi segmenti dello spazio e del tempo, in base a quale essenza (o sinolo di forma–materia) è resa via via disponibile dal concorso delle cause fisiche. In questo senso, di un riferimento implicito ad un duplice e complementare processo fondativo dell'essere (sostanzialità prima) e dell'essenza (sostanzialità seconda) dei singoli corpi semplici e composti che costituiscono l'universo fisico, va intesa in filosofia della natura scolastica la classica formula tomista, dell'essenza *realmente* (causalmente) *distinta* dall'essere nella costituzione ontologica di ciascun ente che così partecipa dell'essere (come atto) in ragione della sua essenza (come potenza) (§ 5.5.2).

Per comprendere la tipicità metafisica della «partecipazione dell'essere» rispetto alla causalità fisica, Tommaso si serve di un'analogia metalogica, quella relativa alla referenza di un simbolo all'ente che esso denota, nel caso di un nome e/o connota, nel caso di un enunciato definitorio. Come la referenza è una relazione asimmetrica in cui l'enunciato si riferisce necessariamente ad un ente per esistere come ente logico (= essere vero), ma dove l'essere fisico dell'ente, pur fondando l'essere logico dell'enunciato, non dipende minimamente da ciò che l'enunciato dice di lui, così in metafisica.

Ogni ente contingente si riferisce necessariamente all'Essere Sussistente per esistere come ente fisico, sebbene l'essere dell'Essere Sussistente non venga assolutamente influenzato da tale riferimento. In breve, la relazione di «partecipazione» è solo analogamente una relazione causale, perché a differenza delle relazioni causali ordinarie (definite da Tommaso relazioni «reali»), non esiste una doppia e simmetrica necessitazione fra causato e causante. La necessitazione, come nella relazione (meta-)logica di referenzialità, di costituzione della verità semantica (= adeguazione), è in un solo verso della relazione che risulta perciò asimmetrica: $(aRb) \neq (bRa)$. Il riferimento costante di Tommaso a «Dio», il «Dio» della teologia cristiana, nei testi in cui si parla della «partecipazione dell'essere» si giustifica perché una siffatta dottrina metafisica della partecipazione può essere posta in continuità, senza ovviamente dimostrarlo, con l'enunciato dogmatico della creazione in senso cristiano. In esso, infatti, si afferma *la necessità* della relazione fra creatura e Creatore, cui si contrappone *la libertà* della relazione fra Creatore e creatura.

Viceversa, tale metafisica si contrappone, non solo alla visione pagana del «fato» e/o «destino», ma anche alla lettura hegeliana moderna della medesima dottrina cristiana. Nella metafisica hegeliana vige infatti la doppia necessitazione fra Essere ed ente, tipica di qualsiasi metafisica determinista, secondo lo schema del «costituirsi necessario» dello Spirito Assoluto attraverso l'evolversi dialettico della natura e della storia, dove cioè «Dio ha bisogno del mondo per essere Dio» (§ 5.5.3).

Infine, l'assoluta unicità della relazione dell'Infinità attuale dell'Essere Sussistente con l'infinità potenziale, *in fieri*, in costruzione (infinito privativo), dell'universo degli enti contingenti evidenzia come l'Infinità Attuale Assoluta dell'Essere Sussistente (infinito negativo), si caratterizza come assoluta semplicità, senza differenze e/o diversità, dell'Atto Puro. Di qui la distinzione fra *tre tipi di infinità* in Tommaso, rispetto ai due di Aristotele, *l'infinità potenziale* o infinito privativo e *l'infinità attuale* o infinito negativo, stante l'inconsistenza della nozione di *infinito in atto*, la pretesa cioè di una nozione costruttiva dell'infinità attuale a partire dall'infinità

potenziale. Quest'ultima infatti si distingue in Tommaso in Infinità Attuale Assoluta (*simpliciter*) ed infinità attuale relativa (*secundunm quid*), o *infinità virtuale*, in base alla quale si possono distinguere anche nell'universo degli enti finiti, diversi gradi e generi d'infinità. Tale dottrina può essere posta in continuità, senza peraltro confonderle, con la distinzione moderna, cantoriana, rispettivamente, dell'infinito potenziale (indeterminato ed incrementabile: l'infinito privativo di Tommaso ed Aristotele), dell'Infinito Assoluto (determinato e non–incrementabile che, anche per Cantor, poteva essere solo Dio) e dell'infinito transfinito (determinato e incrementabile) (§ 5.5.5).

In § 5.6.1, a mo' di conclusione, abbiamo introdotto la differenza–chiave fra epistemologia classica ed epistemologia moderna riguardo al fondamento della predicazione nella costituzione di proposizioni vere, che era il problema affrontato al termine del cap. 2. Usando la terminologia filosofica classica, tale fondamento è definito come il *trascendentale*, in quanto opposto al *categoriale* dei predicati. Mentre il trascendentale per il pensiero classico ed in genere per ogni approccio realista alla scienza è l'*essere dell'ente* fondamento della verità della proposizione, per il moderno era l'*autocoscienza* o «Io penso trascendentale», secondo la definizione datane da Kant. Fondamento della verità per il moderno era infatti l'*evidenza* e la supposta *autoevidenza* dei postulati delle scienze «esatte». Nell'approccio realista di Tommaso, invece, l'essere è fondamento della verità, ma non certo l'essere dell'esistenza.

L'essere fondamento della predicazione e quindi della verità della proposizione non è l'esistenza, ma l'*entità dell'ente*, l'essere che compete a ciascun ente secondo la diversità della sua *essenza*. Tommaso, dunque, nella sua *tavola dei trascendentali* (§ 5.6.2) distingue diversi modi *equivalenti ma non identici* di dire l'essere dell'ente, divisi in modi *speciali* per ciascun ente (= *entità*) e *generali* per ogni ente (= *cosa, uno, qualcosa, vero, buono*). È chiaro che queste nozioni trascendentali o pre–categoriali, ed innanzitutto la prima dell'entità, costituiscono altrettanti *primitivi* di ogni linguaggio dotato di significato, sia ordinario, che scientifico o formalizzato. In ogni linguaggio formalizzato, come pure in ogni interpretazione o modello di un sistema formale, infatti, la prima cosa da dichiarare è *l'entità*. A quale tipo di enti si riferisce e perciò in quale senso s'intende l'essere dell'ente o degli enti (p.es., ente fisico, biologico, logico, etc.) di cui in quel linguaggio si parla. Di qui la necessità di approfondire, logicamente e ontologicamente, la nozione tommasiana di *entità*.

## 5.8 Bibliografia del quinto capitolo

**Quando le date tra parentesi nella referenza sono diverse da quelle in calce al termine della citazione bibliografica, le prime si riferiscono all'edizione (in lingua) originale dell'opera.*


BASTI G. (1991). *La relazione mente–corpo nella filosofia e nella scienza*, ESD, Bologna.

— (1995). *Filosofia dell'uomo*, ESD, Bologna.

BASTI G., PERRONE A. L. (1996). *Le radici forti del pensiero debole. Dalla metafisica, alla matematica, al calcolo*, Il Poligrafo e Pontificia Università Lateranense, Padova-Roma.

CELLUCCI C. (1998). *Le ragioni della logica*, Laterza, Roma-Bari, 2000².

FABRO C. (1961). *Partecipazione e causalità*, SEI, Torino

— (1997). *Introduzione a San Tommaso. Metafisica tomista e pensiero moderno*, Ares, Milano.

FEYNMAN R. (1989). (1989). *QED. La strana teoria della luce e della materia*, Adelphi, Milano.

FRAENKEL A. A. (1968). *Teoria degli insiemi e logica*,Ubaldini, Roma, 1970.

GILSON É. (1932). *Lo spirito della filosofia medievale*, Morcelliana, Brescia, 1983.

GÖDEL K. (1944). «Russell's mathematical logic». In: SCHLIPP P. (EDS.) *The philosophy of Bertrand Russell*, pp. 125-153 (ristampato in: BENACERAFF P., PUTNAM H. (EDS.), *Philosophy of mathematics: selected readings*, Blackwell, Oxford, 1964, pp. 211-232).

HALLETT M. (1984). *Cantorian set theory and limitation of size*, Clarendon Press, Oxford, 1996².

MEIER A. (1984). *Scienza e filosofia nel Medioevo*, Jaca Book, Milano.

REALE G. (1991). *Storia della filosofia antica*, 5 vv., Vita e Pensiero, Milano.

WEISSKOPF V.F. (1990). *La rivoluzione dei quanti*, Jaca Book, Milano.

# 6. Accenni ad una metafisica dell'ente fisico

*La metafisica dell'ente fisico alla luce dei principi della metafisica tomista dell'essere come atto, presentata dall'interno della discussione contemporanea sui fondamenti delle scienze logiche (metalogica) e delle scienze fisiche (metafisica).*

## 6.1 Metalogica e metafisica

### 6.1.1 Metalogica della metafisica

La distinzione moderna fra logica e metalogica e la teoria classica della *suppositio*

In conseguenza delle rivoluzioni scientifiche degli ultimi duecento anni illustrate nella Prima Parte di questo lavoro, la polemica su nozioni semantiche come «significato», «coerenza» e «verità», conseguente alla nascita con Frege della logica formale come *logica simbolica*, come *calcolo dei predicati** (delle classi) e *delle proposizioni**, ha in qualche modo obbligato il pensiero moderno sui fondamenti delle scienze di recuperare, con la distinzione fra *linguaggio (- oggetto)* e *metalinguaggio* originariamente introdotta da David Hilbert a proposito del solo linguaggio matematico (matematica e metamatematica), una distinzione fondamentale della logica formale classica, quella scolastica in particolare. Si tratta della distinzione fra *supposizione formale e materiale* di un termine e/o di una proposizione nell'analisi logica del medesimo (Bochenski 1956, II, 380). Quando cioè si analizza logicamente un enunciato (p.es.: «Antonio corre») bisogna sempre distinguere fra (Cfr. Tommaso d'Aq., *In Periherm.*, I, v, 57):

La *suppositio materialis* e l'analisi sintattica del linguaggio

- L'oggetto puramente linguistico, ovvero l'enunciato del linguaggio in esame preso in se stesso come oggetto di analisi, p.es. come quando si dice: « 'corre' nell'enunciato 'Antonio corre' è un predicato verbale», oppure come quando si dice «'fa quattro' nell'enunciato 'due più due fa quattro' è un predicato nominale»[148].

[148] Scegliamo questi due enunciati, l'uno che ha per referente un oggetto appartenente alla collezione degli enti naturali, l'altro che ha per oggetto un ente appartenente alla collezione degli enti logico–matematici per evidenziare come il discorso metalogico di tipo semantico circa l'*esistenza* dei referenti degli enunciati e circa la *verità* degli enunciati medesimi non ha nulla a che vedere col riferimento epistemologico all'esperienza o al cosiddetto «dato sensibile». In altri termini ciò che è costitutivo della semantica aristotelica e tomista non è il riferimento *epistemologico* all'esperienza, ma il riferimento *metalogico* al refe-

In questo senso nella logica scolastica si diceva che l'enunciato in esame era preso in *suppositio materialis*. Nella logica moderna si dice che l'analisi metalinguistica di un certo linguaggio–oggetto si svolge al livello *sintattico*.

La *suppositio formalis* e l'analisi semantica del linguaggio

- L'oggetto referenziale cui l'enunciato del linguaggio in esame si riferisce, p.es., come quando si dice «'corre' nell'enunciato 'Antonio corre' denota (significa) l'azione che Antonio sta ora compiendo» o, più sinteticamente «è vero che 'Antonio corre'». Oppure come quando si dice «'fa quattro' nell'enunciato 'due più due fa quattro' denota (significa) il risultato esatto della formula aritmetica '2 + 2 = 4'» o, più sinteticamente «è vero che 'due più due fa quattro'». In questo caso nella logica scolastica si diceva che l'enunciato in esame era preso in *suppositio formalis*. Nella logica moderna si dice che l'analisi metalinguistica di un certo enunciato del linguaggio–oggetto si svolge al livello *semantico*.

Funzione sintattica e semantica del verbo nella proposizione

Ora, continua Tommaso nel resto del testo citato (nn. 58-ss.), quando analizziamo logicamente la funzione di un verbo in una proposizione, bisogna distinguere fra l'analisi sintattica e semantica del medesimo. Sintatticamente (*in suppositio materialis*), un verbo con funzione di *predicato* può definirsi come ciò che determina *formalmente* l'indeterminazione del nome che fa da *soggetto* alla proposizione. Semanticamente (*in suppositio formalis*) un verbo con funzione di predicato può definirsi come ciò che

---

rente di un enunciato. Che poi questo ente che costituisce il referente sia un ente naturale oggetto di esperienza o un ente logico prodotto dal ragionamento è un qualcosa del tutto irrilevante sia per la metafisica che per la metalogica aristotelico–tomista. È bene tener presente questo perché il trascendentalismo moderno, sulla scia di Locke, ha inteso dare un'interpretazione empirista del fatto che la costituzione della consistenza e della verità degli enunciati dipendesse dal riferimento all'ente oggetto dell'enunciato predicativo (referente). In altre parole, partendo dal falso presupposto che anche per Tommaso e la scolastica il fondamento della verità degli enunciati fosse di tipo epistemologico e non metafisico e metalogico, l'empirista Locke e tanti neo–scolastici moderni sulla sua scia, purtroppo, hanno inteso estendere alla logica scolastica e tomista in particolare l'assioma empirista lockiano *nihil est in intellectu quod prius non fuerit in sensu*. Un assioma che, come si sa, Locke usava per criticare l'innatismo cartesiano delle idee e rivendicare che le «idee chiare e distinte» o «autoevidenti», fondamento epistemologico degli enunciati veri, fossero di origine sensibile e non razionale. Che l'epistemologia aristotelico–tomista sia contro la teoria innatista della conoscenza è un fatto: per Aristotele e per Tommaso tutti i concetti e principi, anche i più astratti come le categorie o il p.d.n.c., non siano assolutamente innati, ma abbiano origine per induzione è un fatto, di cui a suo tempo ci occuperemo. Ma da questo concludere che essi abbiano perciò il loro fondamento nell'intuizione sensibile come vorrebbero gli empiristi è un falso storico e teoretico con gravissime conseguenze anche culturali. Questo pregiudizio interpretativo infatti è uno dei motivi alla base del fatto che tanti logici e matematici moderni degni di questo nome abbiano ignorato la logica aristotelico–tomista come qualsiasi altra che si fondi su una teoria empirista dei fondamenti.

ha come *referente* una particolare azione (*actio,* come p.es. in «Antonio corre») o proprietà (*passio,* come p.es. in «Antonio è bianco»)[149] del *referente* del soggetto della proposizione.

### 6.1.2 Analisi metalogica della copula «è» negli enunciati

La centralità della copula «è» nella costruzione di ogni proposizione

Una particolare attenzione, conclude Tommaso (Cfr. nn. 71ss.), merita al riguardo il verbo «essere». Infatti, siccome ogni predicato o verbo di qualsiasi proposizione può costruirsi come associazione di un dato nome predicativo e della copula «è» (p.es. «x corre» → «x è corrente»), si può dire che ogni proposizione è sintatticamente costruita come addizione di un *nome predicativo* alla formula schematica universale *soggetto + copula*: «x è», ovvero, nei termini di Tommaso, «*una cosa* è» (p.es., «Gianfranco è *un uomo*», «Furia è *un cavallo*», «l'elettrone è *una particella elementare*», Antonio è *corrente* (corre), etc.). Eccoci dunque giunti al corrispettivo metalogico di quanto epistemologicamente abbiamo precedentemente detto, affermando che l'*ente è il primo conosciuto* (*ens primun cognitum*) in ogni atto cognitivo.

Duplice significato della copula «è»

Se infatti analizziamo metalogicamente la semantica del predicato «è» nella formula schematica universale «x è» o, per dirla con Tommaso, nella formula «una cosa è» (*rem esse*), sottintesa a qualsiasi formula predicativa del linguaggio, è chiaro che essa ha due significati, uno principale, *essere ente,* l'altro indiretto o «consignificato», *essere qualcosa.*

---

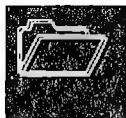
[149] Il definire una certa proprietà o qualità di un dato ente come una sorta di «azione subita» (*passio*) da esso è strettamente legata alla teoria della forma come «atto», ovvero come risultato di un'azione su un sostrato passivo. P.es., la proprietà «esser bianco» di un determinato ente materiale consegue ad un'insieme di azioni causali che hanno determinato il fatto che quell'ente sia bianco. Quindi «esser bianco» è sinonimo dell' «esser stato reso bianco». Nel caso di un uomo dalla pelle bianca, consegue al fatto che il sole non sia stato sufficientemente forte da abbronzare la sua pelle, per esempio. Oppure nel caso di un'illusione percettiva, il fatto che un daltonico veda verde un semaforo rosso l' «esser stato reso verde» del semaforo in quanto da lui percepito dipende dal difetto visivo del daltonico in questione. È chiaro perciò che il grado e la modalità con cui un ente fisico partecipa della proprietà della bianchezza dipende da una particolare reciproca determinazione fra attività di un dato agente e passività di un dato paziente costituito di materia. Nel caso degli enti logici e/o matematici la «causa efficiente» della proprietà in questione, p.es. dell'ente geometrico «triangolo» di «avere la somma degli angoli interni uguale a due retti» sono i postulati della geometria euclidea e, nella fattispecie, del quinto postulato delle parallele.

Il significato primario di «è» come «essere ente» e sua insignificanza riguardo l'esistenza

- *Innanzitutto*, preso come tale senza aggiunte alla sua destra, il verbo «è» significa essere ente, «essere ciò che è». Dove «ente» è il nome predicativo del verbo «essere», come «corrente», «ciò che corre» lo è di «correre» nel senso di «ciò che partecipa dell'azione del correre (o della 'corsa' come astratto di 'correre')», o come il nome predicativo «bianco» può esser considerato «ciò che partecipa della bianchezza», come astratto della «passione» dell' «esser stato reso bianco» da una particolare azione causale. Ora, se è vero che il nome predicativo «ente», significa, letteralmente «ciò che è», «ciò che partecipa dell'essere», questa espressione «una cosa è ciò che è» non è affatto sinonima dell'altra «qualcosa esiste».
Proprio come definire qualcuno, p.es., un «corridore», come «corrente», come un «un ente che corre», «un essere ciò che corre», non è affatto sinonimo di dire che «qualcuno corre», che qualcuno stia effettivamente correndo. Insomma, nell'espressione «ciò che è» (*quod est*) sinonima di «ente», il referente direttamente designato da «ente», dice Tommaso, non è affatto «l'È» (*est*), ma il «CIÒ CHE» (*quod*). In altri termini, se è vero che «ente è ciò che è» non è affatto vero che tale formula tautologica è sinonima dell'altra metalinguistica «ciò che è esiste».
Quando dunque diciamo che qualsiasi cosa è «ente», stiamo dicendo che «qualsiasi cosa è CIÒ che è», ma non stiamo affatto dicendo che «questo 'ciò che è' ESISTE», né men che mai stiamo dicendo che l'espressione con cui designamo questo «ciò che è», p.es. «l'araba fenice» di un qualche racconto mitologico, esiste per il solo fatto – indubitabile come lo è ogni tautologia – di «essere ente».
In altri termini, dal principio di identità nella sua formulazione più generale «ente è ciò che è», che potremmo definire con Parmenide la tautologia più fondamentale del pensiero, non deriva assolutamente, contro quello che Parmenide credeva, l'esistenza di quell'ente. La tautologia «l'ente è ciò che è» non è sufficiente da sé sola a togliere la non esistenza di quell'ente. Dire «l'araba fenice è ente», ovvero «l'araba fenice è ciò che è», non significa nulla rispetto all'esistenza di quell'ente. Per giustificare l'esistenza di un ente occorre così determinare la modalità con cui l'esistenza compete a quell'ente. Determinare questa modalità è precisamente connotare in qualche modo *l'entità* di quell'ente (= il primo dei trascendentali della Tavola IV di p. 398), determinazione dell'entità di quell'ente che appare così indispensabile per affermare in maniera veritativa l'esistenza o non - esistenza del medesimo.

Il significato secondario di «è» come «esser qualcosa» e necessità della sua composizione con un nome predicativo

- *Secondariamente* dunque, afferma Tommaso, il predicato «è» della formula schematica universale «x è», «una cosa è» consignifica (*consignificat*) essere qualcosa (*esse aliquid*), ovvero rimanda necessariamente alla definizione esplicita di un'essenza. Infatti, per tutto quanto abbiamo appena detto, la formula schematica «una cosa è», per poter in qualche modo «consignificare» l' «È», l' «ESISTE» del «ciò che È» occorre che tale formula sia «composta» o «divisa» con una qualche connotazione esplicita, non tautologica, dell'essere di quell'ente, cioè con una qualche definizione della sua *essenza*, mediante l'esplicitazione di una qualche proprietà che compete *per sé* a quell'ente. In altri termini, il significato espresso immediatamente dalla formula «una cosa è», ovvero «essere ente», «essere ciò che è» designa trascendentalmente solo l'estremo sinistro di una formula predicativa, il «ciò che» espresso dal soggetto grammaticale della copula «è».

  Solo dopo che si sarà dichiarato anche l'altro estremo della copula «è», l'estremo di destra predicativo che definisce «d'esser qualcosa» di un ente, ovvero «il che cos'è» del «ciò che è», una qualche connotazione dell'entità di quell'ente, solo allora si potrà decidere se attribuire al referente dell'intero enunciato predicativo il metapredicato «esiste» o «non esiste». E solo dopo questa prima decisione, si potrà infine decidere dell'altro metapredicato «è vero» o «è falso», riferito stavolta non alla coerenza della formula predicativa con cui connotare l'oggetto, ma all'enunciato stesso nella sua capacità assertiva di connotare e denotare un oggetto esistente, oppure di negare che quella connotazione predicativa possa denotare un oggetto esistente. Nei termini di Tommaso:

> La composizione in cui si fonda la verità o la falsità di una formula, non può essere compresa se non secondo che connette gli estremi della composizione medesima. (...) Essa quindi non può essere compresa senza i componenti: poiché la sua comprensione dipende dagli estremi. Se essi non vengono apposti, non vi può essere una completa comprensione della composizione affinché si possa predicare di essa il vero o il falso (Tommaso d'Aq., *In Periherm.*, I, v, 71.72).

I predicati metalogici «esiste» riferito al referente e «è vero» riferito alla proposizione come conseguenze della composizione/divisione

Per questo Tommaso, quando parlava dei fondamenti psicologici dell'intellezione, affermava che l'essere viene conosciuto dall'intelletto, non quando «apprende» l'essenza di un determinato ente — quando costruisce la connotazione predicativa dell'entità dell'oggetto —, ma quando «formula il giudizio». Ovvero, quando costruisce l'enunciato in forma di asserto (affermativo o negativo) denotativo (Cfr. Parte Quarta). Dire che la predicazione «esiste» / «non esiste» e dunque «è vero» / «è falso» può essere apposta ad una proposizione solo dopo che sono stati appo-

sti i due estremi alla copula «è» all'interno della proposizione, significa dunque affermare nel linguaggio della logica medievale di Tommaso – un linguaggio povero di termini tecnici, ma non di chiarezza e profondità di analisi – che i predicati:

- «esiste» / «non esiste»;
- «è vero» / «è falso»

sono predicati metalinguistici o, appunto, metapredicati. Predicati cioè che hanno per dominio non termini, come i predicati linguistici, ma intere proposizioni. Essi sono riferiti rispettivamente:

- *all'ente* che costituisce il *referente extra-linguistico* di una proposizione semplice, completata a sinistra e a destra della copula «è»;
- alla *proposizione* stessa o *referente linguistico*, nella misura in cui l'entità espressa dal nome che completa *a destra* la copula «è» denota correttamente la modalità con cui l'esistenza compete all'ente designato dal nome che completa *a sinistra* la copula «è» della proposizione.

Un esempio dell'uso metalinguistico del predicato «esiste»

Ed infatti dire che «l'araba fenice è l'uccello che risorge dalle sue ceneri» — e non semplicemente dire che «l'araba fenice è ente» — consente immediatamente di decidere dell'esistenza / non esistenza del referente di tale affermazione e quindi della «verità / falsità» di una tale affermazione. Infatti, una volta definita come abbiamo appena fatto l'araba fenice, è immediato dire che il referente di tale definizione *non può esistere* e dunque che tale definizione è falsa. Questo perché con «uccello» si designa un organismo animale di cui — almeno in tempi finiti, al di là dell'ipotesi ergodica (Cfr. p. 171) — è contraddittorio con tutti i dati di esperienza e con le leggi fisiche affermare la possibilità della resurrezione.

Viceversa, non appena costruiamo tale definizione apponendo come altro estremo il predicato «uccello mitologico (fantastico) che risorge dalle sue ceneri», immediatamente la contraddizione viene rimossa, perché si sono definite le modalità o condizioni della sua «esistenza» come «prodotto dalla fantasia di qualcuno» e non come «prodotto da cause naturali», come quando lo definivamo un organismo appartenente al genere dei volatili.

Il carattere metalogico del predicato «esiste» ed il superamento del razionalismo parmenideo

Allo stesso tempo, contro quanto sostengono Parmenide e i suoi epigoni anche moderni come un Emanuele Severino, affermare che un ente, ovvero un «ciò che è», può non esistere non viola affatto il p.d.n.c. Dire infatti che «ciò che è non esiste» non è contraddittorio: è solo *equivoco* semplicemente perché *esiste* è un metapredicato che deve avere come argomento una formula completa che l'espressione «ciò che è» non è as-

solutamente. Essa è infatti solo una formula per esprimere il soggetto di una proposizione cui manca il predicato. Quando infatti diciamo «$x$ è ciò che è», viene immediata la domanda: « 'ciò che è' *che cosa*?». Oppure quando diciamo la formula equivalente a «$x$ è ciò che è», ovvero «$x$ è ente», immediatamente viene la domanda «che genere di ente?».

Una prima distinzione, logica, fra essere dell'essenza o «entità» e essere dell'esistenza

D'altra parte, quando completiamo la formula che poi sarà argomento della nostra analisi metalinguistica, come quando affermiamo «l'araba fenice *è* l'uccello che risorge dalle sue ceneri», possiamo immediatamente costruire la corretta implicazione metalinguistica: «se l'araba fenice *è* l'uccello che risorge dalle sue ceneri, allora l'araba fenice *non esiste*». Ora, se teniamo presente la dottrina scolastica della *suppositio* e quindi la distinzione moderna fra linguaggio e metalinguaggio, appare immediatamente evidente che non stiamo contraddicendoci perché la suddetta espressione non è equivalente all'altra «se l'araba fenice è, allora l'araba fenice non è». L' «esiste» del secondo membro o apodosi della nostra implicazione, non è identico all' «è» del primo membro o protasi. Per avere contraddizione bisogna che i due predicati affermati e negati siano identici. Ma l' «è» della copula nella protasi, in quanto formula completata tanto a sinistra quanto a destra della suddetta copula, denota qui l'*essere dell'essenza* di un ente e più esattamente la sua *entità* (*entitas*), il primo dei trascendentali della tavola tomista (Cfr. Tavola IV, p. 398). Invece l' «è» o l' «esiste» dell'apodosi denota l' *essere dell'esistenza* di quell'ente in quanto determinato secondo l'essenza definita nella protasi, ovvero, logicamente, in quanto metapredicato di un enunciato predicativo.

Si tenga presente che la moderna *ontologia formale* ha finalmente riscoperto questa essenziale distinzione fra *entità* ed *esistenza* come due distinti significati della copula «è» degli enunciati. Solo che avendo perduta tutta la ricchezza dell'ontologia medievale ed essendo schiava della riduzione kantiana dell'essere alla *semplice esistenza*, questa promettente e affascinante disciplina è costretta ad usare formule paradossali del tipo dell'espressione di Alexius Meinong (1853-1920) «oggetti che *non esistono*» (*non-existing objects*), connotando con tale ambigua — al limite dell'assurdo — espressione

- Talvolta quelli che per Aristotele e la tradizione scolastica sono semplici *enti logici* (p.es., quando si parla del concetto di «nulla») — quasi che esistano solo enti fisici, cosicché l'ente logico è connotato come «un oggetto non esistente» o «oggetto astratto»;

- Altre volte quella che invece è la semplice *entità* di un ente, fisico o logico che sia, e che non coincide affatto con la sua esistenza, come spero si sia compreso[150].

Differenza fra fondazione epistemologica e metalogica della scienza

A questo punto abbiamo tutto il necessario per comprendere la differenza tomista fra la nozione di *essere*, nei suoi molteplici significati, e la nozione di *essenza*, ovvero il nucleo della metafisica tomista. Per concludere questa sottosezione un'ultima riflessione. Avevamo detto che l'analisi metafisica e metalogica tomista dei fondamenti del linguaggio scientifico prescindeva da ogni riferimento epistemologico all'atto del conoscere e all'atto di coscienza. Credo che la predetta discussione sia stata sufficiente ad evidenziare la correttezza di quanto abbiamo preteso di affermare, contrapponendo la fondazione metalogica e metafisica tomista della scienza a quella moderna epistemologica. Tutta la predetta analisi non è apparsa minimamente legata all'atto cognitivo e men che mai all'atto di coscienza. Invece, sebbene ancora carente di adeguata formalizzazione, si è svolta tutta sul piano teoretico, senza alcun riferimento a «coscienze» di qualsiasi genere, individuali o trascendentali che fossero.

## 6.2 Distinzione essere-essenza in metalogica

### 6.2.1 Essenza, natura e *quidditas*

Una prima definizione della nozione di essenza

Alla luce di quanto detto appare chiaro il nucleo centrale della metafisica e dunque della metalogica e, implicitamente, della metamatematica tomista, contenuto nella famosa dottrina della *differenza reale essere - essenza*. Già Aristotele, al seguito di Platone, aveva evidenziato come «essere si dice in molti modi» ed i principali erano:

---

[150] Questa riscoperta del pensiero di Meinong si deve innanzitutto a E. Zalta (Zalta 1980; 1988) che da oltre vent'anni ha costituito all'Università di Stanford un *Metaphysics Research Laboratory* (http://mally.stanford.edu//index.html) per favorire la ricerca sul tema. Per un'introduzione Cfr. il classico lavoro di K.J. Perszyk, «Non-existent Objects: Meinong and contemporary philosophy» (Perszyk 1993) e il quadro d'insieme aggiornato sul dibattito in corso, contenuto nella collezione di saggi (Everett & Hofweber 2000). Per distinguere i due sensi sopraevidenziati di «essere» (ente logico ed entità) in quanto differenti da «esistere» si sono create due distinte discipline nell'ontologia formale: la *meontology* (dal greco μή, che significa «non») nel senso di ontologia degli oggetti non-esistenti, gli enti di ragione; e la *tinontology* (dal greco τί che significa «che cosa»), nel senso dell'ontologia delle essenze (letteralmente: delle *quiddità*. Cfr. *infra*, p. 421) che, appunto, in quanto concretamente realizzate in un dato esistente costituiscono la sua *entità* (Cfr. www.foralontology.it)

- «essere per sé» o «essere per essenza» o *essere necessariamente*;
- «esser per accidente» o *essere contingentemente* (Cfr. (*Met.*, V, 1017a, 9)).

Ovvero, avendo il pensiero greco, in quanto prima espressione del pensiero scientifico in occidente, il problema fondamentale di una *classificazione adeguata* degli enti oggetto di ricerca razionale, il primo problema da risolvere era quello di distinguere, nella connotazione degli enti, oggetto d'indagine razionale, quelle che erano le proprietà fondamentali, o, appunto, *essenziali* di quell'ente. Quelle proprietà che consentissero di distinguere fra loro gli enti assegnandoli a diverse specie, in quanto contrapposte alle altre proprietà inessenziali o *accidentali* che, almeno entro certi limiti, potevano variare ed addirittura essere acquisite e perdute senza che le prime ne subissero conseguenze.

Sono dunque le prime proprietà, quelle necessarie ad identificare l'individuo in se stesso e, nella misura in cui (alcune di) esse sono comuni ad altri individui, farlo appartenere ad un'unica specie. L'«essere insieme» o unità formale di tutte queste proprietà che identificano un ente con se stesso e lo distinguono da ciò che è altro da sé è ciò che si designa col termine «essenza».

**Definizione 8**

**Con «essenza» o «natura» di un ente s'intende *metafisicamente* il principio *formale* costitutivo di una cosa, ciò che lo rende identico a se stesso e lo distingue da ciò che è altro (diverso) da sé.**

Essenza e causalità: due nozioni intimamente collegate

D'altra parte, al termine della precedente sottosezione, quando abbiamo scoperto la natura metalogica del predicato «esiste», abbiamo visto come l'*essere dell'essenza* o *entità* sia relativo alle determinazioni *sufficienti* (ma non *necessarie*) per far esistere quell'ente secondo la sua propria modalità di esistenza (nell'esempio dell'«araba fenice», come ente fantastico, quindi *prodotto* dalla fantasia, e non come ente naturale (uccello), quindi *prodotto* da cause naturali). Di qui deriva quella che potremmo definire l'*essenza individuale*. Ovvero, l'essenza di un ente preso nella sua individualità di esistente sotto determinate condizioni, ovvero di *ente contingente*[151]. Un ente cioè che non si da l'esistere da sé, ma lo riceve da altro da sé.

---

[151] Gli enti spirituali non possono essere né individui né contingenti, perché non costituiti di materia.

### Definizione 8b

**Nella misura in cui consideriamo l'ente (fisico, logico, spirituale, etc.) nella sua *individualità* di esistente *contingente*, ovvero che per esistere ha bisogno di un insieme di cause o di condizioni sufficienti a farlo esistere, possiamo definire l'*essenza* come l'*unità* dell'insieme di tutte quelle *determinazioni* che concorrono a *costituire* un ente come *diverso* da tutti gli altri enti che compongono l'universo. In questo senso si parlerà dell' «essenza individuale» di quell'ente.**

Quando invece consideriamo di un ente, non la sua essenza individuale, ma alcune proprietà di quell'ente in quanto comuni a più enti che allora definiremo come appartenenti alla medesima *specie* o *classe* di enti, l'insieme di tali proprietà costituirà l'essenza *specifica* di quell'ente, ciò che Aristotele definiva «sostanza seconda» (Cfr. § 5.4.2 pp.330ss.).

### Definizione 8c

**Con «essenza specifica» (sostanza seconda) di un ente s'intende l'insieme di tutte quelle proprietà o determinazioni di un ente che «l'assegna ad una determinata specie di enti ed allo stesso tempo la separa da tutte le altre specie» (Mondin 1991, 228).**

Per dire la stessa cosa con le parole di Tommaso:

> L'*essenza (specifica)* comprende in sé solo quello che è incluso nella definizione di una specie. Così *umanità* abbraccia solo quello che è incluso nella definizione di «uomo». (…) E precisamente questo indica il termine *umanità*: quello cioè per cui l'uomo è uomo (Tommaso d'Aq., *S.Th.*, I,3,3c).

Bisogna dunque distinguere, fra ciò che è *l'essenza in se stessa* di un ente (= essenza individuale) o di una collezione di enti della medesima specie (= essenza specifica) e quella che è *la conoscenza di quell'essenza* e la sua connotazione in quanto espressa in una proposizione semplice, costruita come composizione di soggetto–predicato (proposizione categorica).

L'essenza e la sua conoscibilità: inconoscibilità dell'essenza individuale

In altri termini bisogna distinguere fra l'essenza in se stessa di un ente e la sua *quidditas* (letteralmente: «checcoseità», *whatness*). Ovvero, ciò che di quell'essenza può essere conosciuto e detto mediante enunciati costruiti come affermazioni o negazioni (composizioni/separazioni) di predicati rispetto a un determinato soggetto. Ciò che è sempre da tener presente è dunque che la denotazione di un'essenza non può *mai* riguardare l'essenza di un ente *singolo*, preso nella sua irriducibile *individualità*, ma solo di una classe o «specie» di enti.

Perfettibilità e sviluppo temporale nella definizione delle essenze

Questa impossibilità di definire l'essenza dell'ente singolo preso come singolo dipende dal fatto che la conoscenza dell'uomo è intrinsecamente *limitata*. Ora, siccome l'essenza è costituita dall'insieme delle «determinazioni»[152] di un qualcosa, nessun essere umano può pretendere di conoscere l'insieme di tutti i fattori che hanno concorso a determinare un ente realmente esistente preso nella sua *individualità* irriducibile. Per arrivare a tanto bisognerebbe infatti avere la conoscenza completa dell'universo intero e delle relazioni che connettono tutti gli innumerevoli enti che lo compongono nel passato, nel presente e nel futuro. La conoscenza dell'*essenza individuale* di un *singolo* ente (p.es., dell' uomo singolo, Gianfranco Basti), come pure, per lo stesso motivo, la conoscenza *completa* di una qualsiasi *essenza specifica* di una classe di enti (p.es., l'essenza dell'uomo con tutte le determinazioni che lo possono caratterizzare rispetto a qualsiasi altro ente passato presente o futuro dell'universo), è qualcosa che è riservato soltanto ad una forma assoluta di conoscenza che non è quella umana. Afferma testualmente Tommaso al riguardo:

> molte sono le determinazioni (*quod quid est*[153]) di una medesima cosa: qualcuna di loro può essere evidenziata, altre semplicemente supposte (...) Ed Aristotele dice che possiamo conoscere l'essere di una qualsiasi cosa prescindendo dal fatto che conosciamo *perfettamente* la sua essenza (...), p.es., se comprendiamo l'essere dell'uomo per il fatto che è «razionale», non ancora conoscendo tutte quelle altre determinazioni che completano la sua essenza (*In Post.An.*, II,vii,472.475).

Essenza, quidditas e natura: tre accezioni diverse della nozione di essenza

Naturalmente, il fatto che l'uomo non possa avere la conoscenza completa di un'essenza, se da una parte introduce un elemento di radicale progresso nella conoscenza, per una connotazione sempre più adeguata dell'ente o della specie in questione, dall'altra ciò non inficia minimamente la possibilità di avere una conoscenza *vera* di quell'essenza. L'importante è che l'uomo possa sempre attingere, mediante la capacità

---

[152] Con «determinazione» rendiamo qui il senso di *quod quid est* (letteralmente «ciò che è»), una classica espressione tomista usata generalmente dall'Aquinate come sinonimo di «essenza», la sostanza «seconda» di Aristotele.

[153] Letteralmente: «ciò che (*quod*) è il 'che cos'è' (*quid est*)» il di un dato ente.

astrattiva del suo intelletto, a quella *differenza specifica* che separa una data specie di enti da tutti quelli che appartengono al medesimo genere nei diversi contesti (nei diversi mondi possibili), così da poter sempre avere una conoscenza *sufficiente* anche se mai completa delle determinazioni di un'essenza. Così, il problema del rapporto fra l'essenza in quanto costitutivo *ontologico* di un dato ente e la sua *conoscibilità / connotabilità* ci introduce ad un'ulteriore fondamentale distinzione che qui riportiamo con le parole stesse di Tommaso:

> (Con *natura* si intende) l'essenza della cosa secondo cui essa ha una relazione alla propria operazione perché nessuna cosa vien meno alle sue operazioni caratteristiche (p.es., dall'azione di attirare il ferro riconosco la natura di un magnete, *N.d.R.*). La *quidditas* di una cosa significa l'essenza come principio di definizione di una cosa; cosicché *essenza* viene detta ciò per mezzo della quale e nella quale un ente ha l'essere (Tommaso d'Aq., *De Ente.*, 1,3).

Con queste poche parole Tommaso introduce così una fondamentale *equivalenza** (che non vuol dire *identità**)[154] fra tre diverse accezioni del termine «essenza» che vale per tutti gli enti: l'equivalenza fra la *natura,* la *quidditas* e l'*essenza* propriamente detta di un ente.

1. Cosa si intende con «natura» di un ente

- Con *natura*, ci ha appena detto Tommaso, s'intende l'essenza di un ente in quanto è principio ontologico delle operazioni che caratterizzano una determinata specie o classe di enti. Infatti è dall'*agire* tipico di un ente fisico (o dal suo *reagire* di fronte a certe azioni di tipo fisico che si operano su di esso) che si può risalire all'essenza di quell'ente, nell'ordine conoscitivo, perché è dall'*essere* di un ente che consegue il suo agire nell'ordine reale: *agere sequitur esse,* «l'agire consegue all'essere». Dove l'essere in questione non è quello dell'esistenza, ovviamente, ma quello dell'essenza, *l'entitas. Ordine* epistemologico (della conoscenza) e ordine ontologico (della realtà) seguono perciò due direzioni opposte, com'è schematizzato nella seguente Tavola V:

[154] Nella *logica dei predicati**, due predicati sono detti *sinonimi* e i loro referenti "identici" se indicano la medesima cosa ed hanno il medesimo significato, p.es., *acqua* e *water*. Invece, se indicano la medesima cosa, ma *non* hanno il medesimo significato saranno *equivalenti**, ma non identici, p.es., «essere *acqua*» e «essere $H_2O$» indicano la medesima cosa, la medesima *specie* di enti (sono predicati definiti sul medesimo "dominio" o insieme di oggetti), ma non hanno il medesimo significato. "$H_2O$" ha un significato molto più tecnico, fisico - chimico, che non copre tutti i significati possibili di "acqua", p.es., religiosi, poetici, etc.

| Ordine Ontologico | Ordine Logico |
|---|---|
| Natura → Azioni | Azioni → Denotazione Essenza (*quidditas*) |
| Natura ≡ Essenza | |

Tavola V. Il segno «≡» significa equivalenza, in quanto distinta da identità «=», nel senso di dire che tutto ciò che ha un'essenza ha anche una natura, anche se natura ed essenza di per sé non si identificano totalmente perché non hanno il medesimo significato

2. Cosa si intende con «quidditas» di un ente

- *Quidditas*, «quiddità» è l'altro termine equivalente di essenza. «In effetti la quiddità rappresenta la riposta alla domanda *quid est?* (che cos'è?) che è chiaramente una domanda volta a scoprire l'essenza di una cosa» (Mondin 1991, 511). Così Tommaso stesso definisce la «quiddità» nel suo fondamentale trattato *De Ente et Essentia* che stiamo usando per fornire queste definizioni fondamentali all'intelligibilità del nostro lavoro,

> Poiché una cosa (p.es., l'uomo, *N.d.R.*) è costituita nel suo genere (p.es., il genere degli enti animali, *N.d.R.*) e/o nella sua specie (p.es., la specie degli enti razionali, *N.d.R.*), da ciò che significhiamo nella denotazione che esprime quello che la cosa è, il termine essenza equivale nel linguaggio filosofico all'altro di quiddità (*De Ente,* I,3).

In altre parole, la quiddità è l'essenza in quanto conosciuta ed espressa mediante un'appropriata connotazione linguistica entro determinati contesti. Ovviamente, quanto si esprime nella connotazione è sempre molto meno di ciò che l'essenza è. Per connotare in maniera completa l'essenza di un ente (in tutti i mondi possibili), occorrerebbe sapere cos'è che lo distingue rispetto *all'infinità di tutti gli enti dell'universo, passati, presenti e futuri*. Cosa che non solo è *impossibile* all'intelletto umano, ma anche del tutto *inutile* per esso, visto le sue capacità attualmente sempre finite (sebbene potenzialmente infinite).

3. Cosa si intende con «essenza» di un ente, in quanto distinta, ma equivalente a natura e *quidditas*

- Con *essenza* di un ente nella sua accezione propria, che non si riduce né a quella di «natura» né a quella di «quiddità», s'intende per Tommaso il «rapporto dell'ente, costituito appunto dall'essenza, all'essere» (Tyn 1991, 401). Ovvero, come Tommaso ci ha appena ricordato, «*essenza* viene detta ciò per mezzo della quale e nella quale un ente ha l'essere». In altri termini, «le cose non si possono distinguere le une dalle altre in base all'essere che è comune a tutte», l'essere della loro *esistenza* (Mondin 1991, 230). Perciò,

se differiscono *realmente* tra loro, bisogna o che l'essere stesso sia specificato da alcune differenze aggiunte, in maniera che cose diverse abbiano un essere specificamente diverso, oppure che le cose differiscano perché lo stesso essere compete a nature specificamente diverse. Il primo caso è impossibile, perché all'essere non si può fare aggiunta in quel modo con cui si aggiunge la differenza specifica al genere (p.es., nel caso dell'uomo, la differenza specifica «razionale» al genere «animale», *N.d.R.*). Bisogna allora ammettere che *le cose differiscano a cagione delle loro diverse nature, per le quali si acquista l'essere* (dell' esistenza, *N.d.R.*) *in modi diversi* (Tommaso d'Aq., *S.c.Gent.*, 26, 239).

## 6.2.2 Entità e esistenza

Differenza essere-essenza: dalla metalogica alla metafisica

Ecco dunque che mediante l'approfondimento della nozione di essenza siamo giunti al cuore della dottrina metafisica di Tommaso, ovvero alla nozione della differenza reale fra *essere* ed *essenza*. Già nella sottosezione precedente abbiamo visto come questa dottrina emergeva al livello dell'analisi metalogica del predicato «essere» in quanto costitutivo di ogni altro predicato.

L'essere dell'essenza o *entitas*, «entità»

Colà avevamo visto che l'essere che funge da copula in ogni enunciato predicativo designa *l'essere dell'essenza* o *entità* dell'ente, cioè l'essere che definisce in qualche modo la *specificità* di un ente, assegnandolo ad una o più determinate specie o classi di enti — fino alla classe che contiene un solo elemento, l'ente in questione appunto, e che lo contiene come individuo —, divenendo dunque il fondamento reale ultimo o *trascendentale* di tutte le *predicazioni vere* attribuibili a quell'ente.

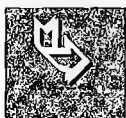
Essere dell'esistenza o *esse ipsum*, «essere stesso»

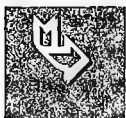
Viceversa l'*essere dell'esistenza* di un ente – l'essere comune a tutti di cui parlava Mondin nella precedente citazione, ovvero l'*esse ipsum* o «essere stesso» di Tommaso e della filosofia – è fondamentalmente un *metapredicato* che giudica della consistenza del referente dell'enunciato predicativo in questione con tutte quella serie di condizioni logiche (leggi) e ontologiche (cause) che caratterizzano l'entità o modalità di esistenza di quell'ente, o di quella specie di enti ,secondo la denotazione che l'enunciato ne dà. Se dunque la denotazione che l'enunciato dà di quell'ente entra in contraddizione con tutta una serie di leggi logiche (p.es., leggi matematiche, come nel caso dell'enunciato «in geometria euclidea, la somma degli angoli interni di un triangolo è 190°») e/o ontologiche (p.es., leggi fisiche, come nel caso dell'enunciato «l'araba fenice è un uccello che risorge dalle sue ceneri»), è chiaro che l'enunciato in questione è *falso* perché l'ente logico o naturale cui esso si riferisce, o *non esiste* o, addirittura, *non può esistere*, secondo la modalità di esistenza o entità espressa dall'enunciato in questione. Nulla infatti vieta che quegli enti, una volta che la loro entità o modalità di esistenza sia stata definita

una volta che la loro entità o modalità di esistenza sia stata definita adeguatamente, in maniera vera (cioè come triangolo esistente in una geometria non–euclidea e come uccello esistente non in natura, ma in testi mitologici), possano esistere, anzi esistano di fatto.

Sintenticamente, possiamo dare le seguenti definizioni:

**Definizione 9**

**Con «entità» o «essere dell'essenza» di un ente fisico s'intende l'essenza concreta di un singolo ente in quanto esistente, l'insieme delle sue proprietà in quanto effetti del complesso d'azioni causali, fisiche e metafisica, che hanno portato quell'ente ad esistere ed esistere *così* con quelle proprietà.**

**Definizione 9a**

**In termini metafisici, con «entità» di un ente s'intende l'insieme delle attualità o perfezioni che competono a quell'ente come risultato della partecipazione all'essere–come–atto in ragione della sua essenza.**

**Definizione 9b**

**In termini metalogici, con «entità» di un ente s'intende il fondamento reale antipredicativo o trascendentale di tutti i termini predicativi che possono essere attribuiti veritativamente al nome che denota quell'ente, nei diversi contesti in cui è definito.**

**Definizione 10**

**Con «esistenza» o «essere comune» di un ente s'intende l'atto di esistere comune ad ogni ente, in**

**quanto ciascuno realizzazione concreta, in un determinato contesto causale, di un'essenza.**

Ogni definizione essenziale è formula abbreviata delle condizioni logiche e ontologiche che determinano l'essere dell'ente

Da quest'analisi risulta così chiaramente che ogni *definizione essenziale* è una sorta di formula abbreviata di tutta quella serie di condizioni logiche e ontologiche (cause) che determinano l'esistenza di quell'ente. Questa stessa considerazione emerge anche dall'esame di quanto il nostro corsivo evidenziava nell'ultima citazione di Tommaso appena riportata, là dove appunto si diceva, a proposito dell'essenza o natura di un certo ente, che essa designa ultimamente *la modalità propria con cui quell'ente acquisisce l'esistenza.*

### 6.2.3 *Per se* e *per accidens*

Predicazione *per se e per accidens:* la soluzione tomista del problema fondamentale della giustificazione dell'universalità e necessità in logica

A questo punto sorge però il problema che avevamo introdotto all'inizio di questa sotto–sezione con la distinzione aristotelica fra *essere per sé* ed *essere per accidente* come i due modi fondamentali di ogni predicazione. Alla luce infatti di quanto Tommaso ci ha insegnato possiamo infatti ora dire che questi modi di predicazione riguardano l'indicazione di certe proprietà dell'ente di cui solo quelle fondamentali sono quelle *essenziali* che appartengono cioè necessariamente o *per sé* alla denotazione di quell'ente perché esplicitamente o implicitamente denotano *la modalità di esistenza* dell'ente in questione. Metafisicamente, esse infatti derivano da quel concorso causale mediante cui quel determinato ente è venuto e viene mantenuto — per un certo periodo di tempo almeno — in esistenza. Ecco perché non si può dire quell'ente senza nominare almeno implicitamente le sue proprietà essenziali. Le altre, invece, sono quelle che ineriscono solo *accidentalmente* alla denotazione di quell'ente, perché derivano da un concorso causale da cui non dipende, se non marginalmente, l'esistenza di quell'ente.

La distinzione fra proprietà essenziali e accidentali di un ente

Facciamo un esempio. Quando si denota un ente attribuendogli certe proprietà (p.es., si denota un certo uomo, p.es. Beethoven, come «musicista» o un certo triangolo dipinto su un foglio di carta come «rosso»), è chiaro che queste proprietà non determinano *necessariamente* l'esistenza di quell'ente. Senza di esse infatti ambedue questi enti potrebbero benissimo continuare ad esistere, rispettivamente come uomo e come triangolo, sebbene individualmente non sarebbero più i medesimi, soprattutto il primo. Così, sebbene di fatto queste proprietà appartengano ai due enti in questione – e quindi il referente dell'enunciato che le descrive esiste e l'enunciato stesso è vero –, la loro perdita tuttavia non impedisce all'uomo Beethoven di continuare ad esistere come uomo e al triangolo

di continuare ad esistere come triangolo, sarebbero semplicemente un uomo ed un triangolo *diversi*.

Fondazione causale delle proprietà essenziali: specificano l'ente secondo quell'insieme di cause e/o condizioni che lo fanno esistere ed esistere così

Viceversa, quando si afferma che certe proprietà appartengono *di per sé* o *necessariamente* a quell'ente, o alla *ragion d'essere* (*ratio essendi*) di quell'ente, si sta affermando che queste proprietà sono quelle senza le quali quell'ente cesserebbe di essere tale perché tali proprietà designano le modalità con cui quell'ente accede all'esistenza nel suo ordine. P.es., per quanto riguarda l'uomo Beethoven, definirlo come un «organismo di tipo animale che ha in sé la capacità di compiere operazioni intelligenti e libere», oppure per quanto riguarda il triangolo descritto sul nostro foglio di carta, definirlo come «poligono di tre lati la cui somma degli angoli interni è 180°», significa specificare quei due enti secondo quell'insieme di cause naturali e/o condizioni logiche che concorrono a determinarli come esistenti nell'ambito degli enti fisici, l'uno, degli enti matematici l'altro. Un uomo non–musicista può continuare ad esistere e ad esistere come uomo. Invece, un uomo senza un corpo animale come effetto di tutta una serie di azioni causali fisiche che lo hanno fatto esistere e continuano a conservarlo nell'esistenza nel mondo fisico; oppure un uomo senza un'anima spirituale come effetto di un'altra causalità nell'ordine metafisico — e quindi nell'ordine psicologico, morale, sociale, etc. —, non potrebbe certo continuare ad esistere come uomo.

Ugualmente un triangolo dipinto su un foglio di carta potrebbe benissimo continuare ad esistere come oggetto triangolare, sia se fosse rosso, giallo o di qualsiasi altro colore. Ma non potrebbe continuare ad esistere come triangolo se aggiungessimo ad esso un lato (se glielo togliessimo non potrebbe più neanche essere poligono). Evidentemente, allora, queste due serie di proprietà sono *essenziali* per i due enti che abbiamo citato come esempio. Ovvero, si tratta di proprietà *necessarie per esistere* (essere per sé) per ciascuno di quei due enti e non solo *accessorie o accidentali per esistere* (essere per accidente).

L'originalità della proposta tomista: suddetta distinzione si fonda su quella fra essere ed essenza

In sintesi Tommaso, seguendo e completando Aristotele, ci ha indirizzato in una direzione del tutto originale per comprendere il senso della distinzione tipica della filosofia greca fra *proprietà essenziali* oggetto di predicazione *necessaria* di un ente e *proprietà accidentali* oggetto di predicazione *non - necessaria* o *contingente* per ogni ente, grazie all'evidenziazione dell'*intimo legame* che non vuol dire identità, ma anzi significa all'opposto *differenza* — e differenza *reale* e non solo di ragione o logica — fra *essenza* ed *essere* di un ente e dunque fra *essere dell'essenza* o *entità* ed *essere dell'esistenza* o *essere comune* del medesimo ente. Alcune proprietà sono essenziali per la connotazione di quell'ente e sono dunque logicamente *universalmente e necessitativamente* legate alla sua definizione, perché connotano la modalità di esistenza propria o *per sé* di quell'ente. Sono infatti

l'effetto di un determinato insieme di cause grazie alle quali l'ente medesimo è venuto e mantenuto nell'esistenza con quelle proprietà. Altre proprietà sono *non–necessarie* o «contingenti» per la definizione di quell'ente e sono dunque logicamente *non universalmente e necessitativamente legate* alla sua definizione perché designano la modalità di esistenza non di quell'ente *per se stesso*, ma di alcuni eventi o accadimenti («accidenti», secondo la traduzione letterale dell'*accidens* latino) che gli ineriscono secondo diverse situazioni causali della sua esistenza. Queste ultime proprietà dunque, a differenza delle prime, possono *variare* in numero e non solo in grandezza come le prime, ovvero essere acquisite o perdute nel tempo, senza intaccare l'esistenza di quell'ente secondo la modalità sua propria, senza intaccare cioè la sua «essenza» o «natura». Essere ed essenza dunque sono reciprocamente legate nel determinare l'esistenza di ogni ente, secondo la modalità o essenza sua propria.

La proposizione «essere ente» è sottospecificata perché la nozione di essere è sovradeterminata

Quando dunque, nell'analisi metalogica della funzione della copula «è» nella proposizione portata avanti nella sottosezione precedente, dicevamo che definire qualcosa come «ente», come «ciò che è», lascia la proposizione sottospecificata finché non si sia definita la parte alla destra della copula, cioè l'essenza o l'effettiva modalità di esistenza di quell'ente, non è perché l'essere sia *indeterminato*. Non è perché «l'essere» vada concepito come una sorta di «genere generalissimo» o concetto astratto al massimo grado possibile. Al contrario, la frase resta indeterminata, perché *l'essere assolutamente preso è una nozione sovradeterminata che contiene in sé il principio di ogni altra determinazione o atto formale*. È la nozione di essere come atto, atto di ogni atto formale e quindi atto originario cui ogni altra attualità formale (l'esser *questo* o *quello*) di ciascun ente ultimamente attinge.

La nozione di «essere», dunque, per la sua assoluta *positività* che non può includere in se stesso alcuna negatività e dunque alcuna *differenza*, è inadatta, per intelligenze limitate come le nostre, a determinare l'esistenza di un ente a sua volta limitato, determinato secondo la sua particolare *modalità di esistenza* secondo cioè la sua essenza, che lo diversifica da altri enti che partecipano al medesimo essere secondo altre modalità. Usando la famosa osservazione di Platone nella sua *VII Lettera*, l'espressione «essere ente» è sottospecificata per i nostri intelletti limitati, che aspirano a conoscere l'essere, ma sono condannati a conoscerlo «a sprazzi» attraverso le qualità. Sono costretti cioè a conoscerlo in forma predicativa, costruendo e provando asserti, e non in forma intuitiva, come lo potrebbe un intelletto attualmente infinito — e non solo potenzialmente infinito come il nostro — che con un unico atto abbracciasse tutto l'ente e tutti gli enti con le loro reciproche, infinite relazioni che li specificano mutuamente.

Ecco le parole di Tommaso che sintetizzano il cuore di questa sua dottrina metafisica dell'atto e della potenza applicata alla distinzione reale *essere – essenza,* per tutti gli enti sia fisici, che logici, che spirituali o altro.

> Quindi è evidente che quando dico *essere,* dico l'attualità di ogni atto (quindi anche di ogni forma, *N.d.R.*). (...) Né con questo bisogna intendere che a ciò che qui definisco essere si debba aggiungere qualcosa di più formale che lo determini, come un atto si aggiunge ad una potenza. (...) *Nulla infatti si può aggiungere all'essere che sia ad esso estraneo,* poiché ad esso nulla è estraneo, se non, appunto, il non essere che non è né materia, né forma. Quindi l'essere non viene determinato da altro come una potenza dall'atto, ma *come un atto dalla potenza* (*De Pot.*, VII,2, ad 9, Corsivi miei).
>
> L'essere infatti è il più perfetto di tutti: si relaziona a tutte le cose come *atto.* Nulla infatti ha attualità se non in quanto è: quindi lo stesso essere è ciò che attualizza tutte le cose ed anche le stesse forme (*S.Th.,* I,4,1, ad 3). Corsivi miei).
>
> È evidente che il Primo Ente, (...), è atto infinito, vale a dire avente in sé tutta la pienezza dell'essere *non contratta ad alcuna natura né di genere, né di specie* (...). Pertanto, ogni ente che é dopo il primo ente, *poiché non è il suo essere* (ma solo l'essere della sua essenza, l'essere dell'esistere consegue all'essere della sua essenza e dunque essere ed essenza non si identificano, *N.d.R.*), ha l'essere ricevuto in qualcosa (nell'essenza con le sue componenti generiche e specifiche, *N.d.R.*) *per mezzo del quale lo stesso essere viene contratto:* e così in ogni ente creato, altra è la natura della cosa che partecipa dell'essere, altro è lo stesso essere partecipato (...). Quindi, è necessario che l'essere partecipato in ciascheduno si relazioni alla natura partecipante come l'atto alla potenza (*Q. de Spir.Cr.*, 1. Corsivi miei).
>
> In ogni cosa allora si trovano sempre due principi, dei quali l'uno è il complemento dell'altro, il *rapporto* (*proportio*) dell'uno all'altro e come il rapporto della potenza all'atto, nulla infatti si completa se non per il proprio atto ((*S.c.Gent.*, II,53,1283). Corsivi miei).

L'Essere Assoluto come fondamento non contiene in sé alcuna differenza

Se dunque non si sa distinguere fra l'essere e l'essenza, si è costretti a concepire l'Essere Assoluto come ciò che attualmente *contiene in sé* ogni determinazione e quindi anche ogni differenza, come fosse un'assurda infinità attuale diversificata. È questo il nucleo metafisico della dottrina del *determinismo universale* della materia nelle scienze naturali, nonché in metafisica il nucleo di dottrine neo–parmenidee dell'essere come statica attualità infinita di ogni determinazione, quali la dottrina dell'essere nella metafisica di un E. Severino.

Siccome però ogni differenza implica *negatività*, queste dottrine risultano ultimamente *contraddittorie*, portando all'identificazione ultima dell'*essere e del nulla* (Basti & Perrone 1996). Esse portano, insomma, all'«assenza del fondamento» come risultato scettico ultimo della moderna «teoria dei fondamenti» (Cfr.(Giorello & Palombi 1997)). Viceversa, come sappiamo l'Infinito Attuale Assoluto, per essere tale, può essere solo Assolutamente Semplice, in quanto Essere Sussistente, senza alcuna negatività, né potenzialità (Cfr. § 5.5.5, pp. 376ss.). Separare l'essere dall'essenza, nella giustificazione dell'esistenza di ogni ente e dunque nella giustificazione della sua *relativa necessità di esistere* — relativa all'insieme di determinazioni che giustifichino necessitativamente la sua limitata esistenza — è l'apporto che il tomismo può fornire alla moderna crisi dei fondamenti.

## 6.3 Distinzione essere–essenza in metafisica

### 6.3.1 Fondazione metafisica della causalità

Necessità di una ri–fondazione post–moderna della causalità

Dalla ricostruzione storica che abbiamo effettuato nel Capitolo 5 del pensiero aristotelico e tomista abbiamo visto che *proprium* di queste metafisiche è la fondazione causale tanto delle *essenze* (Aristotele), quanto dell'*essere* (Tommaso) nella sua duplice composizione di *essere dell'essenza* (entità) ed *essere dell'esistenza* (essere comune o essere stesso). La dottrina della *differenza reale* fra essere ed essenza significa infatti che, almeno nella costituzione dell'ente fisico, *essenza ed essere sono relativi a due distinti ordini causali*, fisico e metafisico, reciprocamente ordinati nel senso che il primo è incluso e fondato nel secondo. Non ha senso dunque una ri–visitazione post–moderna di questa metafisica senza prendere in considerazione una ri–fondazione metafisica post–moderna del principio di causa.

D'altra parte Kant stesso nella Prefazione ai suoi *Prolegomeni ad ogni futura metafisica che si presenterà come scienza*, invitava «tutti coloro che credono che valga la pena di occuparsi di metafisica, che è assolutamente necessario a sospendere provvisoriamente il loro lavoro» (Kant 1781, 3), finché non si fosse trovata una soluzione diversa dalla sua, al problema di Hume della fondazione aprioristica della necessità causale[155]. Con ogni evidenza

[155] Di per sé Kant non invitava a sospendere il lavoro e la ricerca metafisica *tout court*, ma invitava il filosofo ad abbandonare la metafisica classica, «dogmatica» per abbracciare la sua, moderna, «critica» che si riduceva ad una fondazione aprioristica delle tre idee metafisiche dell'*anima*, del *mondo* e di *Dio* come altrettanti postulati della morale o ragion pratica. Sappiamo che fine miserrima abbiano fatto queste tre idee nella metafisica moderna vagheggiata da Kant. Si pensi solo ai «tre maestri del sospetto», Marx, Nietzsche e Freud

questo momento sembra finalmente giunto. La soluzione kantiana appare oggi fortemente inadeguata, a cominciare dai suoi due santuari: la logica formale e la fisica teorica!

Triplice motivazione:

L'esigenza di una ri–fondazione post–moderna della causalità c'è apparsa, di fatto, da tre principali e convergenti punti di vista:

1. Dall'esigenza in fisica di un adeguato schema causale dopo la teoria dei sistemi complessi

- Innanzitutto, dal punto di vista dell'ontologia dei *sistemi fisici*, nel loro manifestarsi paradigmatico per le scienze fisiche moderne come *sistemi dinamici*, abbiamo visto come lo schematismo humiano–kantiano del principio di causalità in fisica — antecedente–conseguente temporali + nesso logico necessitante fra i due — appare del tutto inadatto a giustificare causalmente l'esistenza di strutture ordinate in processi fisici caratterizzati da *instabilità dinamica*. Quei processi, cioè, dove il sistema ha nel lungo periodo «perso memoria» delle condizioni iniziali, sebbene nel breve periodo per molti di essi, possa rimaner valida una legge causale differenziale — il passo successivo dipende univocamente dal passo precedente —, secondo l'originario dettame newtoniano, alla base della rivoluzione scientifica moderna (sistemi dinamici non–integrabili e/o complessi: Cfr. 2.7.2, pp. 162ss.).

2. Dall'esigenza in logica di una fondazione intensionale della necessità logica

- Secondariamente, dal punto di vista *logico–epistemologico*, abbiamo visto che un'adeguata fondazione della necessità logica nelle procedure dimostrative ipotetico–deduttive, tipiche delle scienze matematiche e fisico–matematiche moderne, dopo la dimostrazione, conseguente ai teoremi di Gödel, dell'impossibilità di una fondazione formalista della necessità logica (Cfr. quanto diceva Quine al riguardo, a p. 268), impone una fondazione non–formalista, contenutistica, *intensionale* (con la «s») e non puramente *estensionale*, costitutiva della medesima necessità logica e quindi della stessa nozione di «essere», che non può essere ridotta alla semplice nozione estensionale di «esistenza». All' «essere», cioè, ridotto alla semplice copula di enunciati categorici — per dirla nei termini di Kant — ovvero, all' «essere» ridotto alla pura «appartenenza ad una classe logica» — per dire la medesima cosa nei termini di Frege, di Quine, dell'empirismo logico e di tutta la cosiddetta filosofia analitica contemporanea (Cfr. § 4.5.2, pp. 295ss.).

---

che avevano un solo bersaglio: denunciare il potere alienante del formalismo etico kantiano che aveva nel pensiero religioso di un certo cristianesimo protestante del secolo scorso in Germania — soprattutto dopo la sua rivisitazione ad opera della destra hegeliana — la sua maschera odiosa.

3. Dall'esigenza storica di meglio caratterizzare la metafisica, la logica e l'epistemologia tomiste da quelle platoniche e aristoteliche da cui si origina

- In terzo luogo, dal punto di vista *storico* nel Cap. 5, abbiamo trovato la sintesi fra le due precedenti prospettive nella *metafisica e nella metalogica* aristotelica e nella sua estensione ed ultima coerentizzazione ad opera di Tommaso d'Aquino. Infatti lo schema causale *atto–potenza* applicato alla coppia *forma–materia* (*forma ut actus*, «forma come atto»), che costituisce il *proprium* dell'ontologia aristotelica rispetto a quella platonica, viene da più parti indicato come il naturale sostituto dello schema causale humiano–kantiano nell'ontologia dei sistemi complessi. Viceversa la coerentizzazione di siffatta ontologia aristotelica mediante l'applicazione del medesimo schema alla coppia *essere–essenza* (*esse ut actus*, «essere come atto»), che costituisce il *proprium* della metafisica tomista rispetto a quella platonica e aristotelica, fornisce il *trait–d'union* mancante fra l'ontologia causale delle essenze in filosofia della natura (Aristotele) e la fondazione contenutistica, intensionale e non estensionale, dell'essere in metafisica e metalogica (Platone).

Conseguenze per la filosofia della natura di questo riesame

Di qui la necessità di esaminare se sia possibile stabilire un collegamento più sistematico, da una parte, fra la dottrina aristotelica della causalità atto–potenza (forma–materia) e la teoria dei sistemi complessi nell'ontologia fisica, come più volte accennato; e, d'altra parte, fra la dottrina tomista della causalità atto–potenza (essere-essenza) ed i principi della cosmologia quanto–relativista a proposito dell'origine e dell'evoluzione dell'universo, in metafisica. Si tratta cioè d'iniziare a porre più sistematicamente la questione se i principi della filosofia della natura d'ispirazione aristotelico–tomista, per quanto si ponessero *ieri* agli antipodi della scienza fisico–matematica degli inizi della modernità, possano invece fornire *oggi* dei preziosi suggerimenti alla costruenda ontologia formale dell'ente fisico, conseguente alle rivoluzioni concettuali delle scienze naturali e logico-matematiche del secolo XX. Con particolare, riferimento, ovviamente, alla questione *causalità–determinismo* nella metafisica dell'ente fisico e alla questione *verità–realismo* nella metalogica e nell'epistemologia delle scienze fisico–matematiche.

In questa parte conclusiva del presente volume ci dedicheremo, ovviamente, alle questioni più generali. Esse faranno da sfondo ad un esame più analitico delle medesime questioni riguardo i tre campi principali delle scienze naturali contemporanee — scienze *fisiche, biologiche e cognitive* — ed i loro rispettivi oggetti — enti fisici *inorganici, organici e umani* — che costituirà l'argomento del secondo volume della presente opera.

### 6.3.2 Modello aristotelico di causalità fisica

#### 6.3.2.1 Modello delle quattro cause

Alcune precisazioni sul senso dell'analisi di consistenza della dottrina aristotelico–tomista della causalità

Prima di addentrarci ulteriormente in quest'analisi — puramente iniziale, dati i limiti di questo lavoro — di consistenza del modello causale aristotelico–tomista «atto–potenza» con alcuni risultati emergenti delle scienze fisico–matematiche e logico–matematiche contemporanee, un'importante precisazione. Con tutto questo non s'intende fare un'operazione di retroguardia o di «contro-riforma» culturale, quasi si volesse giustificare un ritorno alla filosofia della natura pre–moderna. Resta cioè in tutta la sua validità la distinzione moderna fra *filosofia della natura* e *scienze della natura* (Cfr. § 1.1, pp.55ss.) e, conseguentemente, a livello dei loro rispettivi oggetti:

- Fra ciò che l'ente fisico è e può essere spiegato di esso mediante la definizione di opportuni fattori causali che determinano tanto l'essere (essenza ed esistenza) quanto il divenire di quell'ente;
- E ciò che si manifesta empiricamente di esso attraverso misurazioni delle relative grandezze e può essere spiegato mediante la definizione di leggi quantitative, matematicamente formalizzabili, che governano le variazioni di queste grandezze e le loro relazioni.

Per lo stesso motivo, non si vuole minimamente contestare l'altra fondamentale acquisizione moderna del *metodo ipotetico–deduttivo* come «il metodo» delle scienze moderne logico–matematiche e fisico–matematiche, contro le illusioni dell'apoditticità del principio di evidenza degli inizi della modernità (Cfr. § 4.2.2, pp.241ss.).

In generale, quanto si vuole qui confutare è solo la presunta arbitrarietà delle ipotesi nelle dimostrazioni scientifiche

Quanto si vuole qui confutare dell'epistemologia moderna ipotetico–deduttiva è la presunta *arbitrarietà* delle ipotesi nelle procedure dimostrative delle scienze, tesi che accomuna tanto l'epistemologia neo–positivista come quella ad essa opposta del falsificazionismo popperiano e post–popperiano. Una tesi che, fra l'altro — come ricordavamo nel Capitolo d'Introduzione di questo nostro volume (Cfr. § 0.2.7.1, pp. 23ss.) —, con una tipica ironia della storia, accomuna «il pensiero debole» dell'epistemologia contemporanea con la posizione più retrograda ed integralista dell'aristotelismo medievale, nell'interpretare le ipotesi della scienza fisico–matematica con «finzioni della mente per salvare i fenomeni», senza alcun fondamento reale. Questa riduzione storicamente ignora che la logica non è solo *logica della prova*, e quindi metodo assiomatico, ma anche *logica dell'invenzione/costituzione* d'ipotesi, e quindi anche metodo analitico. Ignora inoltre che, dopo Gödel, è assurdo continuare a concepire i sistemi logici come esclusivamente sistemi formali, come sistemi «chiusi». Il carattere parziale, quindi modulare, interconnesso, a-

perto ai contesti continuamente variabili degli oggetti cui le costruzioni logiche si applicano (Cellucci 1998), impone una ripresa post–moderna, nient'affatto archeologica o apologetica dell'epistemologia aristotelico–tomista dell'*adaequatio* (Cfr. § 4.4, pp. 265ss.).

Non arbitrarietà della formulazione delle ipotesi:

Secondo tale epistemologia, i legami logici entro e fra le proposizioni, con le loro diverse modalità o gradi e tipi di necessità — con un'integrazione, quindi fra logiche estensionali ed intensionali —, hanno un *fondamento reale* — sono enti logici *cum fundamento in re*, secondo la classica terminologia, diversamente dagli enti fantastici come la nostra «araba fenicie» —, nei legami causali fra gli enti che essi denotano. La formulazione delle ipotesi non è dunque arbitraria in un triplice senso:

1. Perché segue un metodo logico

- Perché segue delle regole ed ha un suo metodo logico, il *metodo analitico*, relativo alle sue forme tipiche di inferenza non–dimostrativa (induzione, abduzione, astrazione, analogia, generalizzazione, etc.) .

2. Perché ampliativa della conoscenza

- Perché i risultati che ottiene con le sue inferenze, sebbene non siano mai assolutamente certi, come dopo Gödel non lo sono neanche quelli del metodo assiomatico e della deduzione, lo sono *limitatamente ai contesti di applicazione* e sono dunque *ampliativi della conoscenza* a differenza di quelli delle inferenze deduttive dei sistemi formali.

3. Perché fondata sull'essere degli oggetti

- Perché tale formulazione ha un *fondamento veritativo* nell'essere degli oggetti e delle loro reciproche *relazioni reali* (= causali) che le ipotesi intendono denotare e/o connotare sotto forma di *relazioni logiche.*

Relazione soggetto–predicato nel linguaggio e sostanza–accidente nella realtà

Nel presente contesto, quindi, quanto si vuole evidenziare è la continuità fra *ontologia* e *fenomenologia* dell'ente fisico secondo lo schema aristotelico–tomista della *sostanza* (prima e seconda) e dell'*accidente* e la sua *fondazione causale,* tanto a livello della sostanza seconda (o «essenza»: Aristotele), quanto a livello della sostanza prima (o «individuo»: Tommaso). Ovvero ciò che si manifesta empiricamente di un individuo (ente fisico) è *accidente* di una *sostanza individuale* (sostanza prima) e/o di una *specie di sostanze* (sostanza seconda) e, a seconda del vincolo di necessità causale che li lega, *proprietà più o meno essenziale di esso.* Il legame logico–formale soggetto–predicato in una definizione di una determinata teoria scientifica è insomma espressione astratta di un soggiacente *vincolo ontologico* fra un soggetto metafisico ed una sua proprietà, fra una sostanza individuale (ente fisico individuale sussistente) ed un suo accadimento (accidente), risultato di una determinata azione causale esercitata su quell'ente fisico da altri enti fisici.

In particolare, in base alle nostre analisi precedenti:

Fondamento reale della distinzione fra proprietà essenziali e accidentali

- Una proprietà risulterà essere *essenziale* (*per se*) o *accidentale* (*per accidens*) di un determinato ente a seconda se derivante da un concorso causale da cui, rispettivamente, *dipende* o *meno* la venuta all'esistenza e la durata (relativa) nell'esistenza di quel particolare ente o specie di enti.

Fondamento reale della distinzione fra proprietà specifiche e individuali

- Una proprietà risulterà essere *specifica* (comune a tutti gli enti della medesima specie) o *individuale* a seconda se, rispettivamente, derivante o meno da un concorso causale *gerarchizzato*, in grado di rendere o meno le proprietà strutturali di un determinato ente indipendenti dalla sua *storia interveniente* e quindi *replicabili indefinitamente* per una molteplicità di enti che si trovino nelle medesime condizioni.

L'esempio delle proprietà specifiche degli elementi chimici e dei loro composti

La spiegazione delle proprietà di *identità/stabilità/specificità* degli atomi e dei composti molecolari da essi costituiti — ovvero i corpi della nostra esperienza ordinaria — come esemplificazione moderna di quella *fondazione causale della stabilità delle specie* non solo e non tanto biologiche[156], ma delle varie sostanze fisico–chimiche (sostanze seconde) che costituiscono la natura dei corpi (sostanze prime) della nostra esperienza ordinaria, e che è il *proprium* della filosofia della natura aristotelica, ci ha introdotto a comprendere quanto qui si sta dicendo (Cfr. sopra § 5.4.4, spec. pp. 352ss.)[157].

Necessità di un superamento dello schema meccanicistico di causalità fisica

Allo stesso tempo, ambedue queste fondazioni causali evidenziano come esse non possano trovare espressione in un modello di causalità basato sulla «dittatura» delle condizioni iniziali come il modello meccanicistico della fisica newtoniana–laplaciana. In ambedue i casi, l'azione causale, costitutiva e sostentiva, delle strutture in questione non può limitarsi all'inizio solo del processo, ma deve in qualche modo essere *simultanea* al processo stesso, così da risultare pienamente intellegibile all'osservatore umano *solo al termine di esso.* Vedremo subito che è precisamente questo del superamento dello schema causale meccanicistico, all'epoca democriteo, il senso della dottrina aristotelica delle quattro cause. Allo stesso tempo tutto ciò spiega perché molti filosofi della scienza contemporanei, schiavi dell'identificazione moderna fra *causalità fisica* e *modello meccanicista* di essa parlano di «violazione del principio di causalità» sia nella fisica quantistica che nella fisica dei sistemi complessi.

---

[156] Questo perché a livello biologico entrano in gioco ulteriori fattori legati ai sistemi complessi circa i quali ancora non è chiara la relazione con le leggi quantistiche

[157] L'affermazione che la meccanica quantistica dell'atomo costituisca la base per una riscoperta della teoria aristotelica della *specificità* dei corpi è condivisa da tutti i filosofi della natura neo–scolastici del secolo XX. (Cfr. Wallace 1996; Artigas & Sanguineti 1989; Selvaggi 1985; Masi 1960; Hoenen 1956).

Relazioni logiche (leggi) fondate sulle relazioni reali (cause)

In base a tutto questo possiamo perciò affermare che, metafisicamente, la *legge logica (relativamente) necessitante* che governa le diverse attribuzioni predicative nelle procedure deduttive tipiche di una determinata teoria fisica è espressione di un soggiacente *processo di causazione* fra enti fisici che si esplica a diversi livelli ontologici e con diverse modalità.

Superamento del nihilismo e del relativismo attraverso integrazione fra metodo analitico e metodo assiomatico ipotetico–deduttivo, fra logiche intensionali ed estensionali

Di conseguenza, contro i rischi d'irrazionalismo epistemologico e di nihilismo metafisico conseguenti alla fine del mito dell'apoditticità aprioristica della scienza moderna degli inizi e del suo sfondo meccanicistico, affermiamo la necessità di integrare il metodo ipotetico–deduttivo tipico del carattere dimostrativo della scienza moderna con un adeguato sviluppo del *metodo analitico* (induzione, analogia, astrazione), come metodo per la *scoperta* e la *definizione* di ipotesi scientifiche, adeguate a specifici oggetti di ricerca delle singole discipline, ovvero *vere* entro contesti e modalità rigorosamente definibili, anche se mai assoluti.

In tale contesto, proprio perché è in ballo la *costitutività dei linguaggi logici delle teorie* un approccio di logica puramente estensionale è insufficiente. Sono infatti i domini dei predicati a dover essere qui giustificati. Sono dunque i fondamenti *intensionali** delle procedure *estensionali** ipotetico–deduttive, di dimostrazione, necessità logica inclusa, ad essere tirati in ballo ad un livello *contenutistico,* intensionale, preformale, dell'analisi metalogica delle teorie scientifiche.

Con questa doverosa premessa, accingiamoci all'esposizione della dottrina aristotelica delle quattro cause, tipica della sua filosofia della natura, fornendo innanzitutto una definizione della nozione di «causa», adeguata alle nostre finalità ontologiche ed allo stesso tempo la più generica possibile per non escluderci a priori alcuna direzione di ricerca.

### Definizione 11

**Con *causa* si intende tutto ciò che viene a determinare l'essere — essenza ed esistenza — dell'ente causato.**

Definizione generica di causa

Questa definizione, per quanto molto generica di «causa» e che si rifà a quella di Tommaso – «tutto ciò che comporta un qualche influsso per determinare l'essere del causato, causa» (Cfr. Tommaso d'Aq., *In Met.*, V,i,751) – ci è sufficiente per introdurre la nostra discussione sulla stretta relazione fra la nozione di «causa» e quella di «essere».

Ordinamento formale causa–effetto dev'essere fondato causalmente

Ora, punto qualificante della dottrina aristotelica delle quattro cause nell'ontologia degli enti fisici è che *l'ordinamento formale necessitante in una legge causale deterministica* (doppia implicazione o condizione necessaria e sufficiente) di una causa (ente/evento producente o «efficiente») al suo effetto (ente/evento prodotto), generalmente, ha a sua volta da essere *causalmente fondato*. Dire che l'effetto di un processo fisico è «in potenza» nelle sue cause iniziali[158] («in potenza attiva» nella sua causa efficiente, «in potenza passiva» nella sua causa materiale) significa precisamente questo.

Atto-Potenza: l'effetto non è implicito nella causa come un teorema nell'assioma potenza.

L'effetto, lo stato finale del processo, ha da essere ordinato alle sue cause, non è «implicito», ovvero ordinato in maniera necessaria ad esse come un teorema è necessitativamente ordinato agli assiomi da cui è dedotto. Un'idea questa assolutamente peregrina per un moderno abituato da Newton in poi a concepire la legge causale differenziale come «d'altra faccia» del carattere formalmente integrabile di ogni sistema dinamico. Oggi però,

Sua attualità dopo i teoremi di Gödel, la logica quantistica di Von Neumann, il teorema KAM

- dopo la scoperta dei teoremi di Gödel in logica e la relativizzazione della necessità logica nelle procedure dimostrative e, allo stesso tempo;
- dopo la dimostrazione ad opera di John Von Neumann che la logica delle formalizzazioni della fisica quantistica deve implicare necessarie violazioni del principio del terzo escluso;
- dopo la scoperta del carattere non–integrabile di quasi tutti i sistemi dinamici della meccanica classica, anche differenziabili, in base alla teoria KAM, ovvero dopo la scoperta del ruolo delle instabilità dinamiche nei sistemi complessi, fisici, chimici e biologici, dopo insomma che appare evidente come nel comportamento della mag-

---

[158] La differenza epistemologica ed ontologica essenziale fra le «cause iniziali» della filosofia della natura aristotelica e le «condizioni iniziali» della fisica–matematica moderna è la seguente. Le cause iniziali sono per l'aristotelismo enti (sostanze) ed eventi (accidenti) del mondo fisico di cui bisogna fondare a posteriori la relazione necessaria con l'evento e/o l'ente prodotto come un effetto dalla sua causa, astraendo così (= metodo analitico, induttivo-astrattivo) la legge logica che definisce la relazione ipotetica condizioni iniziali–condizioni finali della susseguente procedura dimostrativa e/o calcolo (= metodo ipotetico–deduttivo) dal processo causale medesimo. Le cause iniziali sono dunque il «fondamento reale» delle condizioni iniziali, ovvero le condizioni iniziali (grandezze) sono il risultato di un'»astrazione riduttiva» (misurazione) dalle cause iniziali (enti/eventi fisici). Il cuore dell'integrazione fra metodo analitico (classico) e metodo ipotetico (moderno) è che l'unità di misura a sua volta dipende dal processo medesimo da misurare. Essa, cioè, non è fissa, a priori, ma si adegua continuamente così da fornire alla relazione funzionale di per sé, puramente formale che definisce la legge, un'interpretazione semantica o «modello» continuamente aggiornato «in corso d'opera», ma mano che il calcolo (dimostrazione) procede, sulla serie temporale dei dati da rappresentare mediante il modello medesimo.

> gior parte dei sistemi dinamici la struttura dello stato finale del processo, non è predicibile dalle condizioni iniziali,

lo schema aristotelico «atto–potenza» appare estremamente interessante per definire una nuova epistemologia della causalità fisica più comprensiva di quella humiano–kantiana delle origini della modernità.

La causa non è una categoria

Il legame fra nozione di causa e relazione atto–potenza spiega perché per Aristotele la nozione di causa *non è una categoria*, un predicato primo e irriducibile. Essa piuttosto è il risultato della composizione fra le categorie di *relazione, atto e potenza* della tavola delle categorie di Aristotele (Cfr. § 5.4.2, pp. 330ss.).

Estensione della *physica* aristotelica coincidente con quella delle scienze naturali moderne, intelligenza esclusa

In tal modo, ci siamo introdotti nella dottrina tipicamente aristotelica delle *quattro cause* (efficiente o agente, materiale, formale finale) che caratterizza l'epistemologia aristotelico–tomista delle scienze naturali, raccolte sotto il nome generico di *physica* o *philosophia naturalis*. Va tenuto presente, però, che per Aristotele la *physica* come «scienza degli enti capaci di divenire e quindi composti di materia» era un contenitore che abbracciava tutta una serie di discipline che vanno per noi moderni dalla cosmologia, alla meccanica, alla termodinamica, alla chimica, alla biologia, fino alla neurofisiologia, operazioni dell'intelletto escluse[159]. Operazioni che, per la loro *immaterialità*, erano oggetti di studio *metafisico* (Cfr. Aristotele, *Phys.* II,2,194b,15).

Causa non s'identifica con causa efficiente: quattro cause

Cosa sono, allora, per Aristotele le quattro cause cui abbiamo appena accennato? Mentre per il senso comune dell'uomo moderno, dopo Newton, «causa» è diventato sinonimo di «forza» o, più esattamente, di «azione», ovvero di applicazione di una forza per un certo tempo così da modificare lo stato inerziale di quiete o di moto di un certo corpo, per Aristotele (*Phys.*, II,7,198a,14) le quattro cause sono altrettanti *perché* (διότι) cui il filosofo naturale deve rispondere per giungere ad una determinazione sufficiente dell'*essenza* e dell'*esistenza* di un dato ente naturale e/o del suo divenire, sia quell'ente naturale una sostanza o un accidente.

Cause di Aristotele sono le «cause seconde» di Tommaso

Da un punto di vista tomista, naturalmente, queste cause sono solo «cause seconde», in quanto per il suo immanentismo, Aristotele non conosceva la nozione di «atto d'essere» e dunque non era conscio della necessità di dover attingere alla «Causa Prima», come ultimo principio costitutivo e quindi come «ultimo e fondamentale *perché*», dell'essere di ogni ente (Cfr. § 5.5, pp.354 ss.). In ogni caso, ecco in sintesi cosa Aristotele

---

[159] Si può dire che ciascuna di queste discipline sono state oggetto ciascuna di almeno una diversa opera dell'immensa produzione naturalistica dello Stagirita, sebbene sia pretenzioso stabilire una corrispondenza biunivoca fra queste trattazioni aristoteliche e le discipline scientifiche moderne che abbiamo citato.

intendeva con le suddette quattro cause necessarie per avere una determinazione piena dei *processi*[160] fisici: causa *agente*, causa *materiale*, causa *formale* e causa *finale*.

La causa agente o efficiente

Triplice significato della causa agente o efficiente

La *causa agente* può essere definita anche come «*causa efficiente* di» (= «causa che ha per effetto»):

- *il moto locale* (= causa movente) e quindi come causa efficiente di tutte le altre forme di divenire dei corpi fisici che hanno nel moto locale delle particelle elementari costituenti il sostrato materiale del corpo il loro fondamento, ma che non si riducono ad esso e che sono:
- *l'alterazione intensiva* di proprietà qualitative del sostrato materiale dei corpi e che sostanzialmente sono altrettante *disposizioni attivo–passive* delle particelle elementari costituenti i corpi ad interagire dinamicamente con le particelle costitutive altri corpi fisici (= qualità attivo–passive, di cui il calore è quella principale)[161];
- *la modificazione estensiva*[162] o accrescimento delle dimensioni quantitative dei corpi.

---

[160] Con «processo» si intende qui una qualsiasi collezione non ordinata di eventi fisici in quanto non ancora riportati sotto la forma di una legge o di una *funzione matematica* mediante cui rappresentarli in maniera *ordinata* ed al limite predirli (dedurli) nel loro svolgimento temporale.

[161] Da questo punto di vista le «qualità attivo–passive» dei corpi, fenomenologicamente, assomigliano molto alle *cariche* delle quattro forze fondamentali (elettromagnetica, gravitazionale, nucleare–forte e nucleare–debole) dell'attuale fisica delle particelle di cui ci occuperemo nella Terza Parte. Una «carica» può definirsi infatti una «disposizione ad interagire» della relativa particella con particelle dotate del medesimo tipo di carica, in forma elettromagnetica, gravitazionale, forte, debole. Il fatto poi che, per il secondo principio della termodinamica, tutte le quattro forze siano riducibili a calore aumenta i punti di contatto. Infatti, per Aristotele, le qualità sensibili dei corpi (quelle percepibili dall'uomo) sono considerate come qualità derivate dalle quattro qualità attivo–passive fondamentali (caldo, freddo (=attive), umido e secco (= passive)). Esse a coppie alternate caratterizzavano i quattro elementi fondamentali (aria, acqua, terra e fuoco) del sostrato materiale di tutti i corpi fisici «terrestri», quelli «celesti» essendo costituiti del «quinto elemento», l'etere, che riempiva tutto lo spazio cosmico.

[162]Con la distinzione fra *estensione* ed *intensità* ci si sta qui riferendo a due modi di quantificazione, la prima è relativa a numeri *cardinali* (1, 2, 3…) con cui quantifichiamo tutte le grandezze estensive continue (= divisibili all'infinito: p.es., linee, spazi, volumi, ma anche pesi, durate temporali, etc.). La seconda è relativa a *numeri ordinali* (primo, secondo, terzo, etc.) con cui definiamo scale discrete di grandezze (= non divisibili all'infinito, ma dove esiste sempre un *minimo* ed un *massimo*, p.es., la classifica in una gara, una scala di temperature, etc.). Una delle caratteristiche emergenti delle grandezze intensive è che non godono della proprietà additiva della somma, non sono cioè grandezze aritmetiche. Così, mentre due grandezze estensive possono essere sommate (p.es., un segmento lungo 2 *m.* più uno lungo 2 *cm* mi daranno un segmento lungo 2,02 *m*), due grandezze intensive non

Così la causa agente, se presa nel primo senso di «causa efficiente di un moto locale» o «causa movente», è, da un certo punto di vista, il corrispondente del concetto moderno di «forza meccanica», o «forza locomotrice», forza capace di indurre un moto locale nei corpi che vi sono soggetti. Ciò che cambia fra queste due nozioni, di «causa movente» e di «forza» è che, mentre per la scienza moderna la forza è essenzialmente una grandezza che misura l'intensità di un' «azione», nozione questa che corrisponde al concetto aristotelico di *virtus*, per l'aristotelismo la causa agente è l'ente *soggetto attivo dell'azione causale*, l'ente che possiede l'energia necessaria ad esercitare quella suddetta forza nel tempo determinando così un'azione.

*La causa materiale*

Significato della causa materiale

La *causa materiale* può essere definita come il sostrato materiale *passivo* dell'azione della causalità agente. In quanto considerata da Aristotele, insieme con la causa movente come seconda *causa iniziale* di un moto locale dei corpi, il corrispettivo moderno della causa materiale aristotelica è un'altra particolare grandezza, la *posizione*, che varierà in funzione delle variazioni della prima grandezza, la «forza». Più esattamente, nelle equazioni della meccanica classica, *posizione* e *quantità di moto* (intimamente legata all'energia cinetica), costituiranno le due cosiddette *variabili canoniche* delle funzioni che rappresentano il moto locale di un corpo.

D'altra parte, se con «causa materiale» intendiamo più genericamente la «materia», è bene ricordare che il concetto aristotelico di materia non ha un esatto corrispettivo proprio nella fisica moderna. In particolare, sarebbe gravemente erroneo identificare la nozione aristotelica di materia con nozioni quale quella di *massa* della meccanica newtoniana, visto che per Aristotele la «materia», in quanto sostrato passivo dell'azione da una causa agente, era costituito dal moto *incessante* degli elementi, che compongono il sostrato materiale dei corpi in divenire (Cfr. § 5.4.1, pp. 323ss.). In questo moto incessante l'azione esterna della causa agente, induce dapprima un'*instabilità*, «corrompendo» la precedente «forma» entro cui il moto degli elementi era precedentemente «più o meno» ordinato e quindi inducendo una *mutazione sostanziale* o *accidentale* in quel corpo, ovvero la «generazione» di una nuova forma (sostanziale o accidentale) di ordinamento della materia.

Eduzione della forma dalla materia

Siamo in grado di approfondire ulteriormente il principio aristotelico *dell'eduzione* di una forma (materiale) da un sostrato materiale di elementi in movimento. Il moto degli elementi su cui la causa agente agisce per

possono essere sommate (p.es., un bicchiere d'acqua a 10°C più uno a 15°C mi daranno sì, estensivamente, due bicchieri d'acqua, ma non a 25°C, bensì a 12.5°C).

«edurre», trarre fuori, da un simile sostrato materiale un nuova forma può infatti essere:

Forma sostanziale

- O ciò che costituisce il sostrato materiale di un corpo fisico (sostanza prima), nel qual caso la forma che lo ordina è *la forma sostanziale* di quel corpo, cosicché la sostituzione di questa forma con un altra implica il passaggio da una sostanza ad un altra. Si pensi, per esempio, alle molecole in un determinato materiale come il legno di un abete. Cambiando la forma sostanziale di quel materiale (p.es. bruciando il legno, ovvero modificando la composizione atomica delle molecole costituenti), cambiano anche tutte le proprietà fisico-chimiche (accidenti propri) della sostanza in questione (p.es., il legno dell'abete diventa carbone). Si tratterà dunque di mutazione *sostanziale*.

Forma accidentale

- Oppure ciò che costituiva il sostrato materiale di un particolare stato fisico (accidente) di un corpo fisico (sostanza) o di un insieme di essi, nel qual caso la forma che lo ordinava era una *forma accidentale* di quel corpo (o di quell'aggregato di corpi). Si pensi, per esempio, al moto delle molecole, rispettivamente nello stato gassoso (legami intermolecolari praticamente nulli, moti molecolari scorrelati) o liquido (legami intermolecolari deboli, moti molecolari più correlati) o solido (legami intermolecolari forti, moti molecolari coerenti) di una sostanza come l'acqua. La mutazione indotta raffreddando o riscaldando l'acqua sarà così una mutazione accidentale di una medesima sostanza, perché sostituendo una forma accidentale del moto delle molecole d'acqua con un'altra forma accidentale (p.es., quella relativa allo stato liquido con quella relativa allo stato gassoso) non cambia la costituzione atomica delle molecole dell'acqua stessa.

Funzione del calore e collegamento con la termodinamica

Ma come avvengono per Aristotele queste mutazioni, qual'è il loro meccanismo fisico? Per Aristotele le particelle che costituiscono il sostrato materiale dei corpi sono dotate di «forze», ovvero di «qualità attivo–passive» (riducibili essenzialmente a «calore») mediante cui interagiscono reciprocamente. In tal modo, l'azione *esterna* da parte di una causa agente, era, per Aristotele, capace di indurre un *processo irreversibile,* dotato cioè di una *direzione preferenziale*[163], verso una nuova stabilità più o meno ordi-

[163] Il punto essenziale della differenza fra la scienza dei moti e delle loro cause (dinamica) aristotelica e la dinamica newtoniana è tutto qui. La dinamica aristotelica è essenzialmente una *termodinamica* a causa della presenza irriducibile del calore in ogni processo meccanico. Non vale cioè per la dinamica aristotelica il principio d'inerzia: gli attriti sono irriducibili, quindi in ogni processo fisico avviene sempre uno scambio di calore. Allora, poiché il calore, come tutti sanno – e Aristotele sottolinea continuamente nei suoi testi di fisica ed in particolare nel suo trattato di cosmologia, il *De Caelo et de Mundo* e nel suo trattato di chimica-termodinamica, il *De Generatione et Corruptione* –, induce sempre una direzio-

nata rispetto alla precedente, cosicché la nuova *forma* (sostanziale o accidentale) «edotta» in tal maniera dal sostrato materiale, era definibile da Aristotele come *atto* (ἐντελέχεια), letteralmente un «termine intrinseco» del moto degli elementi).

Forma materiale come atto e termine di un processo irreversibile del sostrato materiale. Collegamento con le nozioni di *attrattore e struttura dissipativa*

Era definibile cioè come l'effetto finale di stabilità dei moti del sostrato, indotto irreversibilmente dall'azione di una causa agente sul sostrato materiale medesimo. L'irreversibilità di un siffatto processo di «generazione» di una forma da un sostrato di elementi in moto instabile è legata al ruolo costitutivo del calore in ciascuno di questi processi, ed il fatto che la «forma» in questione risulti così essere una sorta di «limite» (πέρας) o «soglia» (οὐδός) intrinseca dei moti del sostrato (Cfr. Aristotele, *Met.*, VIII,2,1042b,25-27) che come tale emerge solo alla fine del processo, giustifica Aristotele nel definire la *forma* come «fine (non intenzionale) della materia» nel suo divenire, come vedremo subito. Il collegamento della *forma materiale* aristotelica con la nozione di *attrattore* in un sistema termodinamico o «aperto» e quindi con la nozione di *struttura dissipativa* è così fin troppo evidente (Cfr. § 2.5.3).

A questo punto, siamo in grado di comprendere anche le altre due cause, quella *formale* e quella *finale*, che come spiegheremo immediatamente, non sono di fatto distinte fra di loro nei *processi fisici*, ma solo in quelli *intenzionali*.

*La causa formale–finale*

La causa formale e finale

La c*ausa formale* e la causa *finale* sono ovviamente le due cause più lontane dal meccanicismo e dal formalismo matematico–analitico della fisica moderna. Per questo però sono per noi anche le più interessanti dal punto di vista epistemologico, per comprendere la nozione tomista di *astrazione* degli assiomi su cui si fonda poi la procedura dimostrativa di una scienza. Occorre dunque soffermarci su di esse.

---

ne preferenziale del moto dei corpi (quello centrifugo verso gli estremi del volume che contiene quei corpi), tutti i processi fisici hanno un verso ed una direzione non modificabile. Ovvero tutti i corpi «tendono irreversibilmente» verso qualcosa, verso una nuova stabilità (in termini matematici, lo spazio fisico aristotelico è *anisotropo*: tutte le direzioni dei moti *non* sono equivalenti e per questo è essenzialmente diverso da uno spazio geometrico). Questo è il fondamento fisico del *finalismo* della fisica aristotelica che come si vede non è legato a nessun *a priori* teologico. Viceversa, la dinamica newtoniana, fondandosi sul principio d'inerzia ed eliminando così il calore come causa fondamentale di spiegazione di tutti i processi fisici, elimina dallo spazio fisico le direzioni preferenziali, rendendo così *isotropo* (tutte le direzioni del moto *sono* equivalenti) lo spazio fisico e quindi del tutto analogo allo *spazio geometrico*.

Causa formale e finale distinte solo nell'ordine intenzionale

Innanzitutto una precisazione che, se fosse stata sempre tenuta presente nelle discussioni fra filosofia scolastica e scienza moderna, avrebbe evitato tanti fraintendimenti. Per la fretta di giustificare una visione «provvidenzialista» della natura, infatti, non ci si è mai preoccupati di spiegare che per Aristotele e Tommaso causa formale e causa finale sono distinte *di fatto* solo nei processi intenzionali, non fisici. Solo nell'ordine intenzionale (p.es. quando voglio raggiungere un dato oggetto), infatti, il fine precede temporalmente nella mente del soggetto umano la causa formale e quella agente poiché esso, in quanto intenzionalmente desiderato dalla volontà, *ordina irreversibilmente* la sequenza di azioni fisiche che è necessario ad un soggetto umano compiere per raggiungere il fine *intenzionalmente desiderato* (p.es., allungare la mano e muovere secondo una sequenza ordinata le dita per raggiungere ed afferrare l'oggetto desiderato). In altri termini, il *finalismo* è esplicativo solo nell'ordine intenzionale. Questo è un punto fondamentale, come vedremo, per decidere della consistenza logica della dottrina aristotelica della causalità, a differenza, per esempio, della dottrina neo–platonica (Cfr. § 6.3.2.3, pp.452ss.).

Ciò vale soprattutto per il finalismo metafisico rispetto alla mente di Dio

Così rispetto alla «mente di Dio», ovvero in metafisica e teologia, è certamente corretto, dopo che per altre strade (p.es., per dimostrazione in metafisica o per postulato di fede in teologia) si è ammessa l'idea di un Dio creatore, parlare di un finalismo *intenzionale* o *teleologia* dell'universo, in quanto Dio lo ha pensato per un certo scopo (Galvan 1992b; 2000).

Ma finalismo intenzionale metafisico non può essere usato per giustificare in fisica un finalismo a livello ontico

Ma se si usasse un tale principio per giustificare in fisica una qualche forma di finalismo esplicativo, si commetterebbe almeno un imperdonabile «salto di categoria», oltre che negarsi in linea di principio la possibilità di usare in metafisica un corretto approccio non–meccanicista alla causalità nell'ordine fisico — che Aristotele esemplificava con la nozione di causa formale–finale distinta dalle due cause «meccaniche» agente e materiale —, come *via* (la famosa quinta via di Tommaso, quella dell'ordinamento finalistico dell'universo, in relazione all'intenzionalità divina) per la dimostrazione dell'esistenza di Dio stesso.

Tre componenti della nozione di causa formale–finale

Dunque, tornando alla dottrina delle quattro cause, con causa formale–finale — perché lo ripetiamo, e come Tommaso tiene da buon teologo a precisare, le due nell'ordine fisico non sono di fatto distinte — Aristotele intendeva essenzialmente due cose:

1. Principio di totalità, irriducibile alla somma delle parti

- Quell'*intrinseco principio di ordinamento* che fa sì che una *totalità di parti* in un corpo (ente fisico) o in una proposizione (ente logico) sia diversa dalla semplice *somma delle parti* (*Met.*, VII,7,1041b,10-13)[164]. P.es., — l'esempio è di Aristotele stesso — la pronuncia di una parola, p.es. «chi», è più della semplice somma delle pronunce delle sue singole lettere «ci-acca-i». Dire infatti che un corpo composto di elementi è la semplice «somma» dei componenti, significa dire che gli elementi componenti (p.es. atomi) continuano ad essere individui indipendenti (= atomismo) anche dopo che sono divenuti componente materiale di un ente più «complesso» (p.es. molecola) e dunque più «ontologicamente perfetto».
Ma se il nuovo ente fisico più complesso è «trascendentalmente» uno (sia esso sostanza o accidente), ovvero è un «nuovo» irriducibile *individuo*, la sua unicità individuale è strettamente legata all'unità formale caratteristica dei moti dei suoi componenti che fa sì che essi, a loro volta, non siano più «molti» ma «uno»[165].
L'*unità trascendentale* (Cfr. § 5.6.2, pp. 394ss.) dell'individuo esistente è quindi qualcosa che modifica anche le *unità quantitative* con cui quantificare l'oggetto.
Così, se il nuovo individuo è caratterizzato dal nuovo «modo si essere insieme» delle parti che lo costituiscono, la *forma* è appunto quel principio intrinseco di totalità e di ordinamento delle parti che lo *distingue* da altri enti e che lo rende *irriducibile* alla somma delle parti componenti stesse, proprio come la sillaba «chi» è diversa dalla somma delle lettere componenti «ci–acca–i».
Viceversa, per comprendere la distanza di questo principio aristotelico dai principi ispiratori della fisica moderna, basta tener presente l'ipotesi di linearità ultima delle leggi fondamentali della meccanica newtoniana e quindi d'integrabilità dei sistemi dinamici da essa studiati, il che porta a supporre esattamente il contrario di quanto qui Aristotele afferma. L'atomismo meccanicista moderno ha, infatti — è bene sempre sottolinearlo di nuovo —, un suo ben preciso fon-

[164] Anche da questa semplice notazione, si comprende come i connettivi della logica proposizionale aristotelica non sono solo i connettivi vero-funzionali delle logiche estensionali…

[165] Nel saggio filosodofico *De Mixtione Elementorum* Tommaso spiega quest'unità formale del composto, sottolienando come ciò che la caratterizza è che 1) tutti gli elementi componenti *modifichino istantaneamente* le loro proprietà quantitative caratteristiche in funzione della loro appartenenza alla totalità; 2) per ciò stesso gli elementi nel composto sono caratterizzati da un «oggettività debole», esistono cioè *virtualmente* nel composto, in particolare non sono localizzabili univocamente in esso. I punti di contatto con la fenomenologia degli stati quantistici dell'atomo o della molecola sono di nuovo impressionanti: si pensi riguardo ad (1) all'*entanglement* quantistico e (2) alla *non-località* quantistica…

damento matematico, non è affatto ideologico nella sua origine, ma semmai nelle estrapolazioni filosofiche derivate da esso.

2. Stato finale stabile di un processo dinamico irreversibile

- Quello *stato finale*, più o meno ordinato rispetto a quello di partenza, cui un processo fisico irreversibilmente tende.

La forma naturale è un termine (τέλος: ovvero solo in questo senso è «fine» come termine non-intenzionale di un processo fisico, *N.d.R.*) ed un ciò-in-causa-del-quale (τὸ οὗ ἕνεκα). Infatti, poiché il movimento (degli elementi) è *incessante*, c'è bisogno di un termine e di un ciò-in-causa-del-quale tale termine è raggiunto (ovvero di un principio ordinatore l'insieme delle cause agenti verso quel termine: in questo senso si parla di «causa formale-finale» inscindibilmente unite, *N.d.R.*)» (Aristotele, *Phys.* II,2,194a,27-29).

L'sempio aristotelico della goccia d'acqua

L'esempio che fa altrove Aristotele per spiegare quanto sta qui dicendo, quello della goccia d'acqua, è quanto mai efficace, non solo in sé, ma anche per noi moderni, visto che i fenomeni di turbolenza nei fluidi e le transizioni di fase (p.es., i passaggi di stato del tipo stato gassoso–stato liquido) sono altri due dei punti dove la fisica moderna newtoniana tocca i suoi limiti intrinseci nella capacità di determinazione dei fenomeni. Pensiamo, ci dice Aristotele, alle particelle d'acqua nel vapore: esse si muovono vorticosamente e senza «termini» che le contengano, cercando di occupare tutto lo spazio disponibile (p.es., tutto il vetro della finestra, il sistema segue cioè l'ipotesi ergodica. Cfr. sopra p. 171).

Non appena venga operata un'azione causale appropriata (p.es., abbassamento della temperatura), repentinamente queste stesse particelle si condensano in poche gocce d'acqua (rottura dell'ergodicità). Attenzione però, nota Aristotele: non è che dentro la goccia le particelle d'acqua cessino di muoversi o si muovano regolarmente. Semplicemente, sebbene tutte le singole particelle d'acqua che compongono la goccia continuino a muoversi vorticosamente, non di meno questi si moti si *autocontengono reciprocamente* (Cfr. Aristotele, *Phys.*, IV,5,212a,34 e il commento di Tommaso, *In Phys.*, IV,vii,479.482).

Dal processo stesso è così emerso *irreversibilmente* un «limite», un πέρας, un «termine irreversibile», un τέλος, del moto incessante delle particelle stesse, che le confina entro il volume regolare della goccia. Nei termini della dinamica dei sistemi complessi, nello spazio di fase del sistema si sono strutturati diversi *attrattori* (attrattori caotici) della dinamica (Cfr. § 2.6.2, pp. 149ss.). La «forma» cioè non è solo uno stato ordinato, termine dei moti del costituente materiale, ma anche un termine *ordinante* irreversibilmente verso se stesso come fosse un «fine» di tipo intenzionale, il processo fisico che lo ha generato.

3. Effetto catastrofico non proporzionato alla causa

- L'effetto «catastrofico» di un *piccolo mutamento* delle cause iniziali agenti e materiali. Il che ci conferma che il concetto aristotelico di «causa formale» era intimamente legato, come alla sua condizione necessaria, a quella che oggi definiamo in fisica *instabilità dinamica* tipica dei «sistemi non-lineari». La caratterizzazione nella fisica moderna dell'instabilità dinamica è infatti precisamente questa: una piccola modificazione delle condizioni iniziali della dinamica è in grado di produrre effetti catastrofici assolutamente imprevedibili (Cfr. § 2.6.1, pp.142ss). Ecco comunque come si esprime Aristotele al riguardo:

> Piccoli mutamenti sono causa di grandi, non di per sé, ma quando accade che insieme si muti un principio. I principi infatti sono piccoli di dimensioni, ma grandi per le proprie potenzialità, e appunto in questo consiste l'essere principio: l'essere causa di molte cose e non aver nulla più alto di sé (Aristotele, *De Gen. An.*, V,788a, 10-15).

La forma come termine e limite intrinseco di un processo irreversibile, impredicibile dalle cause iniziali

La forma naturale di un ente o di un evento fisico (= forma corporale o forma materiale) è dunque un *termine*, un *limite* intrinseco (è il significato proprio di *entelechia* in Aristotele cui corrisponde il latino, *actus*, l'atto della forma) dei moti del sostrato materiale instabile degli enti ed insieme «ciò–in–causa–del–quale» tale termine è raggiunto dai moti stessi. Ecco dunque esemplificata la causa formale–finale aristotelica in fisica. Quanta differenza, dunque, fra la «forma» della goccia d'acqua aristotelica ed i moti ordinati e geometricamente predicibili delle orbite dei pianeti della fisica moderna, o fra questa «forma» e le geometrie «fredde» del fiocco di neve! Una «forma», quella della fisica aristotelica, che non è deducibile da nessuna regola universale che determini a priori completamente il processo (chi potrebbe far ricondensare nello stesso modo il vapore su di un vetro per quanto rendesse simili le condizioni iniziali?), ma che emerge solo come *termine necessario di un processo irreversibile*.

Ovvero, causa formale come *fine non intenzionale* o «fine naturale» di un processo

La causa formale è dunque termine, più esattamente un *fine non-intenzionale di un processo*, perché consiste in un insieme concomitante di fattori che ordina *irreversibilmente* il processo causale dalle cause agenti (la causa agente iniziale esterna e le susseguenti interazioni causali delle particelle materiali attraverso le «qualità attivo-passive» che le legano) e materiali iniziali, al raggiungimento necessario dell'effetto, ovvero della stabilità (più o meno) ordinata finale[166].

---

[166]Per produrre un certo effetto non basta infatti un insieme di cause agenti e materiali, bensì occorre anche l'*ordinamento* di queste cause. P.es., per produrre un incendio, non basta un fiammifero acceso, la paglia, ed il soffio della mia bocca. Se infatti l'azione del soffio precede l'avvicinamento del fiammifero alla paglia spegnerò il fiammifero e otterrò

La causa formale–finale non produce nulla, non è causa efficiente

Tale forma però non produce nulla: non è causa efficiente di nulla, a differenza delle forme platoniche (p.es., l'anima umana) che esercitano un'azione motrice (spostano particelle) sulla materia. Essa esprime solo l'esigenza che un complesso di fattori, diverso dalle cause iniziali, ha prodotto l'effetto finale. Il collegamento di questi principi della fisica aristotelica con i processi fisici cosiddetti «complessi» e con i principi della termodinamica non–lineare, rilevati da molti Autori e già ricordati in precedenza, appaiono dunque davvero ben fondati.

Per un'adeguata comprensione della consistenza logico–epistemologica della causa formale–finale aristotelica un punto va evidenziato. L'ordinamento è una «forma» che emerge dalla «fine», non dal «principio» del processo causale stesso a partire dall'azione iniziale dell'agente su un sostrato materiale: si tratterà dunque di un ordinamento *a posteriori* e non *a priori* del processo fisico.

Ordinamento a posteriori causa–effetto fondamento dell'implicazione logica antecedente–conseguente che esprime la relazione causale sotto forma di legge

Di qui un punto qualificante della teoria aristotelica delle quattro cause, che come vedremo, rende lo schema logico soggiacente alla sua teoria della causalità finale del tutto differente da quello della teoria neo–platonica, in particolare plotiniana. Mentre nella teoria di Plotino la causa finale è quella che anche *produce l'effetto* dell'esistenza dell'ente, *causa efficiente e causa finale s'identificano* — si pensi alla teoria dell'emanazione–ritorno *necessari* dell'ente finito da–a l'Uno — nella teoria aristotelica causa efficiente e causa finale sono distinte. Lo stato finale o «effetto» *esiste* grazie alla causa agente–efficiente iniziale, ma *l'ordinamento* o il legame necessario fra causa efficiente e l'effetto dipende dall'effetto, dallo stato finale. È questo il senso della famosa dottrina aristotelica e tomista, che pone la causa finale come fondamento metafisico della *necessità* della relazione causale fra l'agente e l'effetto prodotto dalla sua azione. Una necessità espressa dall'eventuale legge causale. Insomma se la causa agente fonda l'esistenza dello stato finale, è solo a partire dallo stato finale che può essere fondata la *formalità dell'implicazione causale* (*ratio causalitatis*). Ecco un famoso testo di Tommaso al riguardo:

> Bisogna sapere che fra le quattro cause c'è un certo ordine per cui si stabilisce fra la causa materiale e la causa formale da una parte e fra la causa efficiente e quella finale dall'altra, una chiara corrispondenza. Infatti c'è corrispondenza fra la causa efficiente e la causa finale, perché quella efficiente inizia il divenire e quella finale lo conclude. Parimenti c'è corrispondenza fra materia e forma: infatti la forma da l'essere (*dat esse*) alla materia (fa sì, p.es., che

---

solo un fiammifero spento. Se viceversa lo segue, attizzerò l'incendio. Dopo che avrò scoperto questa relazione d'ordine, nulla mi vieta di formalizzarla sotto forma di "legge universale degli incendi", a partire da due cause agenti (fiammifero, soffio) ed una causa materiale (paglia) *iniziali*.

cloro e sodio *siano* cloruro di sodio, se i moti delle particelle costituenti — in particolare dei cosiddetti elettroni di valenza — sono ordinati in modo da «ruotare» intorno ai nuclei dei due atomi invece che di uno solo, *N.d.R.*) e la materia lo riceve (nel senso che l'ordinamento che emerge dal processo fisico, determina le particelle materiali in moto ad essere sostrato di un certo ente e non di un altro, *N.d.R.*). La causa efficiente è causa della causa finale rispetto all'essere (*quantum ad esse*: ovvero *fa essere la causa finale*: infatti, poiché emerge durante ed al termine di un processo iniziato dalla causa agente, l'esistenza della causa formale-finale dipende dalla causa agente, *N.d.R.*), infatti con la sua azione la causa efficiente fa sì che il fine diventi reale. Invece, il fine non è causa della causa agente nella linea dell'essere, ma solamente rispetto alla relazione di implicazione causale (infatti, ordinando l'insieme delle cause agenti, fa sì che al termine del processo, dalle stesse cause agenti si produca un certo effetto e non un altro: in altre parole è la causa finale che rende la causa agente una causa «efficiente», ovvero capace di produrre *necessariamente* un certo effetto e non un altro *N.d.R.*). Infatti l'agente è causa in quanto agisce, ma agisce (producendo un certo effetto *N.d.R.*) solo grazie al fine. Per cui l'agente diventa «efficiente» (ovvero capace di produrre *necessitativamente* un dato effetto) solo dalla causa finale (Tommaso d'Aq. *De Pot.*, 5,1).

### 6.3.2.2 Analisi del modello

Rilevanza della dottrina aristotelica per la revisione dello schema causale moderno

Cerchiamo di capire questo punto fondamentale dell'epistemologia aristotelico–tomista in cui è nascosta l'alternativa allo schema humiano-kantiano di causalità. Un'alternativa che è divenuta urgente oggi in un duplice senso:

- Nel senso che lo schema causale antecedente–conseguente temporale non è applicabile alla spiegazione causale dei sistemi complessi, visto che lo stato finale «ordinato» non dipende univocamente dalle condizioni iniziali.
- Nel senso che il legame logico necessitante fra antecedente e conseguente proprio di quello schema ha da essere a sua volta fondato, dato che dopo Gödel la necessità logica, almeno sul finito — e tutti i sistemi fisici sono finiti — non è più un assoluto in grado di fondare alcunché.

Problema del fondamento della necessità logica presente anche nell'antichità

Specialmente in quest'ultimo senso, la problematica attuale ha molti punti di contatto con quello che nell'antichità era noto anche a Tommaso come il problema della critica megarico–stoica alla validità della sillogistica aristotelica nelle scienze naturali. Il problema in questione è quello

della *giustificazione della necessità del nesso causale* causa–effetto nelle scienze naturali.

Analisi tomista della dottrina aristotelica e distinzione in fisica fra processi stabili e instabili

La questione viene impostata da Tommaso in un famoso passo del suo commento alla *Fisica* di Aristotele (Cfr. Aristotele, *Phys.*, II,7,198a,14-26 e Tommaso d'Aq., *In Phys.*, II, xi, 242-248) nella seguente maniera, che sostanzialmente anticipa la distinzione moderna fra processi stabili all'equilibrio e processi stabili fuori dall'equilibrio, come le strutture dissipative.

Dice in sintesi Tommaso, riprendendo alla lettera Aristotele: per determinare completamente un processo in fisica non sempre sono necessarie tutte e quattro le cause, agente, materiale, formale, finale.

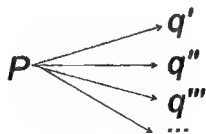
Il caso dei sistemi stabili e il carattere apodittico delle leggi fisiche che li riguardano

In alcuni casi, invero non molto numerosi, sono sufficienti le due *cause iniziali* di un processo fisico per determinare *univocamente* lo stato finale del processo stesso: la causa agente e la causa materiale. In tal caso, non c'è alcun bisogno di invocare un'ulteriore causa formale–finale per giustificare il nesso deterministico, ma le quattro cause vengono ridotte essenzialmente a due. Esse sono, chiaramente, le due cause iniziali, movente e materiale, del meccanicismo, nella fattispecie quello Democriteo, in base alle quali, nota profondamente Tommaso, la procedura dimostrativa in fisica assume le forme di una procedura perfettamente *deduttiva* da premesse *apodittiche*. Potremmo dire che è in questo primo caso, è racchiuso il modello causale di tutti i sistemi fisici stabili, quelli della meccanica classica in particolare. qui racchiuso tutto il «sogno» della scienza newtoniana degli inizi della modernità. Quella che pretendeva di ridurre tutti i sistemi dinamici a sistemi integrabili.

Caratterizzazione dei sistemi fisici complessi in Tommaso

Ma, continua Tommaso, nella stragrande maggioranza dei casi studiati dalle scienze naturali ciò non è vero: una stessa molteplicità di cause iniziali (agenti-materiali) non determina univocamente un solo stato finale, bensì può determinare una molteplicità di stati finali *possibili*, non prevedibili a priori, ciascuno dei quali, allora, sarà prodotto da quelle cause iniziali solo con una certa *frequenza* (*frequenter*). D'altra parte, nota ancora Tommaso, questa equivocità della relazione causa-effetto, se esaminata rispetto alle sole cause iniziali, viene rimossa dal processo fisico stesso nel senso che qualunque cosa accada, *una volta accaduta*, quindi *a posteriori*, sarà accaduta *necessariamente,* causalmente necessitata. In altri termini, ciò significa che se una certa molteplicità di cause iniziali diciamo **P** sarà in grado di produrre non un solo effetto *q*, ma una molteplicità **Q** di effetti, sarà il processo fisico stesso, in base all'effetto di fatto prodotto, a specificare le due molteplicità **P** e **Q** e le loro *relazioni.*

In termini moderni, sarà il medesimo processo a specificare le due molteplicità, rendendole da *generiche collezioni non ordinate* **P** e **Q**, due *insiemi or-*

*dinati* **P**($\preceq$), **Q**($\preceq$) con le loro reciproche relazioni formalizzabili matematicamente come funzioni. È dunque lo stato finale effettivamente prodotto ad aver effetto *specificante, ordinante* sulle due collezioni di cause-effetti da porre in corrispondenza. Ecco dunque la causa finale-formale all'opera, come ulteriore causa da aggiungere alle due cause iniziali per rendere perfettamente *decidibile, o* univocamente determinato, il processo. In termini moderni, è come se lo stesso processo fisico determinasse, rispetto al successore effettivamente prodotto dal processo stesso, la *relazione funzionale* $y = f(x)$ che deve logicamente rappresentarlo in maniera necessitante e dunque *univoca* e, al limite, *bicondizionale.* In sintesi, si avrà l'*equivocità* della relazione causale:

se e solo se si considera **P** una collezione sub-specificata di cause iniziali che può essere specificata ed ordinata, resa cioè un insieme ordinato, rispetto alla collezione **Q** degli effetti solo a posteriori. Ridefinendo cioè ciascun, *p appartenente a* **P**, $p \in$ **P**, rispetto a ciascun $q \in$ **Q** e viceversa, ovvero dimostrando la loro reciproca *convenienza* in modo da ottenere quella *bicondizionalità* della relazione ($p \equiv q$: «*q* se e solo se *p*») che determina ogni *p* in relazione a *q* e viceversa, come si richiede ad una relazione causale *necessaria e biunivoca* (= doppia implicazione) di tipo deterministico.

Carattere necessariamente ipotetico delle leggi fisiche al riguardo

Di qui la soluzione di Tommaso alla critica stoica ad Aristotele. Infatti, afferma Tommaso, in processi fisici di questo tipo, la procedura dimostrativa delle scienze naturali non assumerà la forma *apodittica* della dimostrazione deduttiva del caso precedente dove bastavano le due cause iniziali per determinare univocamente lo stato finale, ma, dovrà assumere la forma *ipotetica* «se *p* allora *q*» ($p \supset q$), dove *p* e *q* sono due enunciati descrittivi, rispettivamente, dello stato iniziale e di quello finale di un processo fisico. Il problema è che *a priori* non posso sapere quale *q*, un dato *p* necessariamente implicherà e/o, viceversa, da quale *p* un dato *q* è stato prodotto. Un sistema caotico è una perfetta esemplificazione di questa doppia indecidibilità.

Differenza fra la fondazione tommasiana e leibniziana della doppia necessitazione causale (condizione necessaria e sufficiente)

Il succo del ragionamento di Tommaso è il seguente: mentre in logica la verità della conseguenza non può fondare la verità della premessa (= *fallacia del conseguente*. Cfr. p. 246) perché il vero può essere implicato dal falso, in fisica l'esistenza dell'effetto *suppone necessitativamente* l'esistenza della causa, così da rendere invertibile la relazione di implicazione materiale $p \supset q$ fra gli enunciati categorici $p$ e $q$ connotanti rispettivamente lo stato iniziale e quello finale del processo in modo da giustificare induttivamente, rispetto a *un modello applicato al caso sperimentale* della legge generale ipotetica, la relazione bicondizionale ricercata: $p \equiv q$. La *necessità ontologica* (= causa) fonda la *necessità logica* (= legge), senza supporre *leggi matematiche di simmetria* date a priori, come nell'epistemologia moderna da Leibniz in poi, conformemente all'adagio aristotelico che la necessità è più ampia della necessità logica:

> Il necessario poi è più ampio del sillogismo: infatti ogni sillogismo è necessario, ma il sillogismo non è tutto il necessario (*An. Pr.*, 47a, 33-35).

Per arrivare alla suddetta specificazione, occorre così che, *in un primo momento*, sia l'osservazione *a posteriori* del processo a fondare una forma del tutto particolare di ragionamento *ipotetico*, diciamo ($p^* \supset q^*$), dove la *protasi* o l'*antecedente*, $p^*$, non sarà l'enunciato descrittivo dell'insieme delle cause iniziali del processo, e l'*apodosi* o la *conseguente*, $q^*$, l'enunciato descrittivo dello stato finale del processo, bensì l'inverso. Infatti siccome in questi processi la costitutività logica (necessità-universalità) del connettivo della legge causale che occorre definire ($p \supset q$) dipenderà essenzialmente dallo stato finale effettivamente raggiunto dal processo, è chiaro che le due forme dimostrative della procedura ipotetica, i famosi *modus ponendo ponens* e *modus tollendo tollens* della logica proposizionale di origine stoica, potranno essere validamente applicate se e solo se come antecedente, ovvero come condizione *sufficiente*, sarà considerata la descrizione dello stato finale *osservato* $p^*$ del processo fisico e come conseguente, ovvero come condizione *necessaria*, la descrizione delle cause iniziali $q^*$. Infatti, l'evidenza «fisica» di una relazione causale, sempre ottenibile sperimentalmente quella secondo cui, in un singolo processo causale, negando la causa sarà negato anche l'effetto, avrà in questo caso la forma logicamente valida del *modus tollens* ovvero: «Ogni effetto $p^*$ implica che ci sia stata la sua causa $q^*$. Il non verificarsi della causa $q^*$ implica il non verificarsi dell'effetto $p^*$». In simboli:

$$((p^* \supset q^*) \quad \sim q^*) \supset \sim p^*$$

E, conseguentemente, l'affermazione che $q^*$ è la causa di $p^*$ avrà la forma logicamente valida del *modus ponens*, ovvero: «Ogni effetto $p^*$ implica

che ci sia stata la sua causa $q^*$. Il verificarsi dell'effetto $p^*$ implica l'essersi verificata della causa $q^*$». In simboli:

$$((p^* \supset q^*) \cdot p^*) \supset q^*$$

Dunque, in tutti i processi causali non univoci o «probabilistici», quelli che data una molteplicità di cause iniziali producono solo *frequenter* certi effetti, la legge di forma ipotetica che li rappresenta nella scienza fisica dovrà, in un primo momento, avere necessariamente come sua protasi (premessa) la descrizione dello stato finale raggiunto effettivamente dal processo e come sua apodosi (conseguenza) la descrizione delle cause iniziali che lo hanno necessitativamente prodotto. In tal maniera, la collezione di cause iniziali precedentemente sub-specificata riceverà la sua determinazione ultima dal processo stesso e dall'esito finale di questo processo. Sarà cioè lo stato finale a stabilire *a posteriori* la *costitutività* della relazione logica d'implicazione nella definizione di una legge fisica causale di tipo ipotetico la quale, solo *dopo* l'applicazione del *modus tollens* - *modus ponens* a termini invertiti appena illustrata, potrà stavolta prendere la sua forma «normale» *a priori* (cioè dove la protasi sono le cause iniziali e l'apodosi l'effetto prodotto).

Rapporto con l'astrazione in epistemologia e l'induzione costitutiva in logica

In altre parole, ciò che è *a priori* logicamente nella procedura dimostrativa di una scienza può derivare solo *a posteriori* dall'osservazione del processo fisico, così da renderlo universalmente definibile e riproducibile. La bicondizionalità della relazione che fonda la *necessità* della legge causale ($p \equiv q$: «$q$ se e solo se $p$»), può essere fondata solo per riferimento al singolo processo reale R: $p \underset{R}{\equiv} q$. Questa costituzione del connettivo logico della legge sulla singola *res* per poi essere generalizzata ad altri casi simili è ciò che caratterizza, in epistemologia, la nozione aristotelico–tomista di *astrazione* e in logica la procedura d' *induzione costitutiva* cui abbiamo già più volte accennato. Le *ipotesi*, lungi dall'essere poste arbitrariamente, per poi venire applicate al reale per un successivo *atto di interpretazione* della relazione formale astratta come *modelli* di quella realtà, sono costituite sulla realtà medesima.

Come si vede, e avevamo preannunciato nell'Introduzione, fra i primi a confutare l'interpretazione ideologica della filosofia della natura aristotelica che vorrebbe fare delle ipotesi, nelle scienze fisico–matematiche, delle pure «finzioni della mente atte a salvare i fenomeni» è proprio Tommaso, il massimo rappresentante medievale di quella filosofia. In una parola l'*esse* dell'ente logico (enunciato) universale si fonda *costitutivamente* sull'*esse* (*entitas*) della *res* (evento) singolare. Non è l'intelletto misura delle

cose, come sofisti (nell'antichità) e neopositivisti (nella modernità) affermano, ma sono le cose ad essere misura dell'intelletto[167].

Ecco il testo di Tommaso, già anticipato nell'Introduzione, dove tutto quanto appena detto viene spiegato dalle sue stesse parole:

> Nelle scienze assiomatiche il necessario si trova costituito *a priori*, come quando diciamo che se la definizione di angolo retto è tale, è necessario che il triangolo sia tale, ovvero che abbia tre angoli uguali a due retti. Da ciò infatti che viene prima (*ex illo ergo priori*) e che viene assunto come principio, deriva necessariamente la conclusione (= se la premessa è vera, è vera anche la conclusione: *modus ponens*, *N.d.R.*).
>
> Ma da ciò non consegue l'inverso, ovvero, che se la conclusione è (vera) allora lo è anche il principio (= fallacia del conseguente, *N.d.R.*). Poiché talvolta da premesse false può esser inferita una conclusione vera (= l'implicazione materiale della logica stoica dei ragionamenti ipotetici, nel suo aspetto più «scandaloso», *N.d.R.*). Pur tuttavia resta il fatto che se la conclusione è falsa lo è necessariamente anche la premessa, poiché il falso non può essere inferito che dal falso (= *modus tollens*, *N.d.R.*).
>
> *In quelle cose però che avvengono a causa di qualcosa (propter aliquid), sia secondo la tecnica o secondo la natura, quell'inverso di cui sopra ne consegue*: poiché se lo stato finale è o sarà è necessario che ciò che è prima dello stato finale o sia o sia stato. Se infatti ciò che viene prima dello stato finale non è, neanche lo stato finale è: e questo è come nelle dimostrative, se non c'è la conclusione non vi sarà il principio (= ancora *modus tollens*, ma applicato sull'inversione antecedente/conseguente che caratterizza la dimostrazione propter aliquid, ovvero per mezzo della causa finale, *N.d.R.*).
>
> In altre parole, è evidente che in ciò che avviene a causa di qualcosa, *lo stato finale ha lo stesso ordine che nelle procedure dimostrative tiene il principio*. E questo poiché in effetti anche il fine è un principio: non dell'azione, però, ma del ragionamento. *Dal fine infatti cominciamo a ragionare delle cose che sono in relazione al fine* (= procedura di formulazione della legge, mediante riadeguamento reciproco premessa/conclusione per costituire la loro *convenientia* reciproca e dunque la verità logica dell'implicazione, *N.d.R.*) e nelle procedure dimostrative non ci si interessa dell'azione, ma del ragionamento, poiché nelle procedure dimostrative non vi sono azioni, ma solo ragionamenti. Quindi è conveniente che il fine nelle cose che accadono in relazione ad uno stato finale (*propter finem*) tenga il luo-

---

[167] «Le cose si trovano rispetto al nostro intelletto come *cause*, perché il nostro intelletto dipende da esse. Quindi la nostra scienza non misura le cose, ma è misurata da esse, come il Filosofo afferma nel decimo libro della sua *Metafisica* (1,1053a,31-1053b,3; 6,1057a,8-11)» (Tommaso Aq., *In I Sent.*, XIX, 5, 2, ad secundum).

> go del principio nelle conseguenti procedure dimostrative. Perciò la similitudine (fra processi naturali e procedure dimostrative) è da ambedue i lati, sebbene con un'inversione della relazione fra i due dal fatto che il fine è ultimo nell'azione, ciò che invece non è nella dimostrazione (*In Phys.*, II,xv,273).

Causa formale e causa materiale come cause intrinseche a ciascun ente fisico (corpo) costituiscono l a sua essenza come composta di forma e materia

In sintesi, secondo Tommaso, la necessità della relazione causa-effetto nella determinazione scientifica sotto forma di legge ipotetica di un processo fisico può essere in linea di principio fondata solo *a posteriori*, a partire dall'effetto irreversibilmente raggiunto rispetto al quale soltanto una certa molteplicità di eventi iniziali di un processo riceve propriamente la determinazione di «cause agenti» iniziali di quel processo da cui l'effetto finale è *necessitativamente* raggiunto. Per questo, conseguentemente, la natura o essenza dell'ente/evento fisico contingente, deterministicamente prodotto da quelle «cause», sarà costituita da un sostrato materiale e da una forma, ovvero da una causa materiale e da una causa formale. Esse allora costituiranno le cause *interne* dell'esistenza di quell'ente, proprio come le cause agenti e la medesima causa materiale costituiscono le cause *iniziali* di quel processo fisico. Le cause che hanno portato come loro effetto finale all'esistenza di quell'ente.

In altri termini, è dall'azione di un'agente su una materia che dipende l'esistenza di una certa *forma materiale* o principio di organizzazione interna del sostrato materiale (= la stabilità dei moti del sostrato) dell'ente prodotto al termine del processo di «eduzione» di questa medesima forma dal sostrato. Per questo però è la forma stessa, in quanto effettivamente prodotta dalle stesse cause iniziali del processo che determina *univocamente*, ovvero necessitativamente, il *nesso* causale dell'effetto colla causa agente iniziale, così da rendere possibile la definizione universale di una *legge* che rappresenti il processo stesso in forma *inferenziale* (ipotetico–deduttiva).

### 6.3.2.3 Consistenza del modello

Causalità finale nel neo–platonismo e nella versione forte del principio antropico

La consistenza logica ed ontologica del modello aristotelico di causalità in base all'analisi che ne abbiamo finora fatta è confermata dai risultati dell'analisi di consistenza della causalità finale nel pensiero classico e moderno che uno dei migliori logici italiani, il prof. Sergio Galvan dell'Università Cattolica di Milano, porta avanti ormai da molti anni (Galvan 1992a.b; 1997). I risultati di tale analisi sono stati recentemente sintetizzati dal medesimo Autore in un saggio (Galvan 2000), raccolto nel più volte citato volume *Determinismo e complessità* (Arecchi 2000), particolarmente utile per i nostri scopi, perché tale saggio si muove nell'ambito di un'analisi critica del principio di causalità alla luce dei risultati della teoria dei sistemi complessi e delle instabilità dinamiche — ap-

plicata in particolare alla cosiddetta «versione forte» del *principio antropico* (Cfr. sopra, p. 229) —, che è il medesimo contesto in cui ci muoviamo noi in questo lavoro.

Carattere di causalità efficiente di fine nella dottrina plotiniana come paradigma di ogni finalismo ontico, non intenzionale

Il centro dell'analisi di Galvan è quello della critica alla nozione di «causa finale» del neo–platonismo, in particolare quello plotiniano, dove attraverso la dottrina dell'*emanazione necessaria* di tutti gli enti dall'Uno e del *ritorno necessario* di tutti gli enti al medesimo Uno in quanto Bene, causa efficiente e causa finale vengono di fatto identificate. Il Bene, il Dover Essere, ha cioè per Plotino una forza esplicativa originaria, perché trae all'essere tutto ciò che è degno di essere. In tal modo, la causalità finale acquista un valore esplicativo a livello *ontico*. In altri termini, in base all'analisi di tale schema causale fatta da J. Leslie (Leslie 1989), nell'approccio della cosmologia plotiniana come in quello del «principio antropico *forte*» in cosmologia quanto–relativista, vige quello che Leslie definisce il «requisito creazionistico etico» (CER). Tale schema nelle due cosmologie, viene così formalizzato da Galvan:

> Si tratta di un'esplicita argomentazione di tipo finalistico genuino, che, esposta completamente e riferita al mondo attuale diventa: 1) l'universo attuale è un mondo positivo in quanto contiene forme di vita intelligente; 2) ciò che è positivo deve esistere; 3) ciò che è positivo esiste, dunque 4) l'universo attuale esiste. D'altra parte (e qui da Plotino si passa a Barrow): 5) l'esistenza del mondo attuale implica il verificarsi negli istanti iniziali dell'universo il verificarsi di coincidenze antropiche; dunque 6) è anche spiegato che negli istanti iniziali dell'universo le coincidenze antropiche si siano verificate (Galvan 2000, 227).

Nel modello neo–platonico l'ordinamento al fine è condizione sufficiente per produrre l'effetto

Dunque, cuore di ogni spiegazione finalistica «*è attribuire efficacia* all'ordinamento al fine, sì da avere nel fine la causa dell'evento» (*ivi*). In altre parole, cuore dell'uso esplicativo del finalismo è l'identificazione fra causa efficiente (capacità di produrre eventi) e causa finale (ordinamento al fine), cosa che, come nota Galvan immediatamente, è assente nella dottrina delle quattro cause aristoteliche, dove causa efficiente e finale sono distinte. Sinteticamente, nello schema finalistico, che attribuisce causalità efficiente al fine, è operante un «principio di riflessività deontica»:

$$OA \supset A$$

Inconsistenza logica di tale modello

Dove O è un operatore modale di necessità deontica che, applicato sul suo argomento ne determina il «dover essere», e la riflessività della relazione espressa dal principio è data dal fatto che è sufficiente la semplice applicazione dell'operatore sull'argomento per far ritornare come risultato l'esistenza necessaria dell'argomento stesso. L'errore logico gravissi-

mo che si cela dietro il modo di ragionare del CER è che si confonde la *positività assiologica* (il «dover essere» di un valore che per questo assurge al ruolo di fine) e la *necessità ontica* (la «necessità di esistere» di un determinato ente/evento). Infatti, sul piano ontico, non solo è formalmente possibile che il meglio non venga ad esistere, ma è anche del tutto improbabile che ciò avvenga, senza il concorso di altri fattori. Statisticamente parlando, nel contesto cioè dell'applicazione in fisica di tali teorie:

- ciò che esprime *l'alta improbabilità* dell'accadimento di un evento (ciò che determina il suo «dover essere» o causalità finale)
- non può essere anche ciò che lo *rende probabile* (ciò che determina la sua «necessità di esistere» o causalità efficiente).

Violazione della legge di Hume della dicotomia «fatti/valori»

Detto in termini filosofici, il «principio di riflessività deontica» opera un'esiziale confusione fra *fatti* e *valori*, andando contro la fondamentale «legge di Hume» della dicotomia fatti–valori, secondo la quale non è possibile derivare logicamente proposizioni normative (contenenti modalità *deontiche*, logiche deontiche) da proposizioni descrittive (contenenti solo modalità *aletiche*, logiche aletiche) e viceversa, come in questo caso.

Consistenza del meccanismo di generazione di un attrattore caotico con la separazione fra fattori causali efficiente e formale (di ordinamento)

Applicando alle nostre riflessioni questo schema di Galvan, risulta evidente come, nei sistemi caotici, sia fisicamente operante, a livello della statistica dell'evoluzione dinamica del sistema, quella distinzione fra:

- i fattori causali che rendono improbabile un qualsiasi stato finale ordinato o attrattore della dinamica, ovvero il principio di meccanica che è alla base del fenomeno dell'instabilità dinamica (nella metafora della «trasformazione del fornaio» (Cfr. p. 156), lo «stiramento» dello spazio di fase con la conseguente divergenza delle traiettorie);
- i fattori che rendono probabile uno stato finale ordinato (attrattore strano) totalmente impredicibile, ovvero il principio termodinamico che è alla base del fenomeno dissipativo del riavvicinamento delle traiettorie su un'ulteriore dimensione dello spazio di fase (nella metafora del fornaio, il «ripiegamento su di sé» dello spazio di fase). Una dimensione distinta da quelle rispetto alle quali le traiettorie medesime si allontanano.

Causalità nei sistemi complessi

Così, nota giustamente Galvan a proposito dei fenomeni complessi, guai a confondere questi nuovi modelli causali imposti dallo studio delle complessità — modelli distinti da quello humiano–kantiano–hempeliano[168] che identifica la causalità efficiente nelle sole condizioni

[168] Effettivamente Galvan si riferisce esplicitamente al modello hempeliano — (Carl Gustav Hempel (1905– ) — di causalità che, ai nostri fini, possiamo considerare

iniziali — con una spiegazione di tipo finalista, dove invece i due ordini di fattori anzidetti sono sistematicamente confusi, se non identificati. Al massimo, nota ancora Galvan, ciò che è operante nello studio dei sistemi complessi, è un principio di «causazione–all'indietro». Ovvero, aggiungiamo noi, un principio di necessitazione ad esistere di uno stato finale ordinato (attrattore), o un principio di «rottura dell'ergodicità del sistema» (Cfr. p. 172), legato a fattori indipendenti dalle condizioni iniziali — il meccanismo dissipativo di riavvicinamento delle traiettorie iniziali, secondo un percorso irreversibile, totalmente impredicibile dalle condizioni iniziali medesime.

Esempio non di causalità finale, ma di retro–causazione

In altre parole, nei sistemi complessi, abbiamo un superamento del modello meccanicista di causalità. Esso, però, non ha nulla a che fare con un modello di causalità finalistica di tipo neo–platonico. Il che conferma di nuovo come il modello aristotelico di causalità — soprattutto nell'analisi formale tomista che abbiamo testé riportato (Cfr. in particolare la citazione di p. 451) costituisca un buon antecedente metafisico dell'attuale teoria fisica dei sistemi complessi.

Finalismo esplicativo solo a livello intenzionale, perché causa efficiente non è il fine, ma il soggetto intenzionale

Viceversa, dove il finalismo acquista valore esplicativo è propriamente solo a *livello intenzionale*. Mediante l'influenza di un *fattore epistemico*, legato alla conoscenza consapevole di un soggetto, il fine inteso da quel soggetto acquisisce un valore esplicativo. Ma di nuovo, come bel caso precedente, non ci troviamo di fronte ad una vera e propria causalità agente del fine, in quanto di nuovo, l'elemento di causalità efficiente (il soggetto consapevole agente) e l'elemento di ordinamento al fine (la consapevolezza della positività di un certo accadimento desiderato) risultano ben distinti e connessi solo mediante il fattore epistemico. Solo in quanto un certo evento viene consapevolmente inteso da un soggetto come fine cui ordinare una determinata successione di azioni che dipendono produttivamente dal soggetto agente, il fine inteso acquista valore esplicativo. La successione di azioni fino all'evento finale non sono però prodotte dal fine, bensì dal soggetto agente che resta l'unica causa efficiente.

Formalmente, lo schema di un'azione intenzionale è molto vicino allo schema CER:

$$IA \supset A$$

Schema del finalismo intenzionale

L'intenzione di A produce A: ecco lo schema di ogni tipo di causalità intenzionale. La differenza è che in questo schema non è il dover essere del fine a determinarne la sua produzione, ma il fatto che esso sia inteso così dal soggetto agente. Certamente il fine gioca un ruolo esplicativo,

---

un'assiomatizzazione del modello kantiano–humiamo e dunque ad esso sostanzialmente equivalente.

ma solo perché inteso come tale dal soggetto agente che resta così l'unica causa efficiente: il ruolo esplicativo del fine è così mediato dal fattore epistemico, cognitivo, senza produrre alcuna confusione fra ordine assiologico ed ontico come nel caso del finalismo neo–platonico.

Consistenza del modello aristotelico

Applichiamo ora quanto detto allo schema aristotelico delle quattro cause, esso appare perfettamente in grado di soddisfare perfettamente i requisiti dell'analisi di Galvan, dimostrando di nuovo quanto gli aristotelici rinascimentali fossero viziati da pesanti condizionamenti neo–platonici nell'interpretazione della causalità finale aristotelica, esponendola così alla pesante mannaia della critica humiana:

- Innanzitutto, è vigente in tale dottrina una netta separazione fra causalità efficiente e finale.
- Secondariamente, si riconosce un valore esplicativo autonomo alla causa finale solo nel contesto delle operazioni intenzionali (= fondazione epistemica a posteriori della necessità logica nei processi fisici causali).
- In terzo luogo, anche per Aristotele e il suo Commentatore Tommaso, a livello ontico la causalità finale non esercita alcuna causalità efficiente. A questo proposito occorre però una distinzione:
    - Per quanto riguarda quei processi causali il cui stato finale non dipende *univocamente* dalle cause iniziali e che oggi sono rappresentati dai sistemi complessi, anche per Aristotele e Tommaso vale il principio ricordato da Galvan. Non bisogna confondere la necessità di allargare il principio causale esplicativo dalle semplici cause iniziali, ad un insieme di eventi temporalmente successivi allo stesso evento–effetto (retro–causazione). Ciò che nei processi fisici non–intenzionali caratterizzati da instabilità dinamica, dove cioè lo stato finale non è predicibile dalle condizioni iniziali, Aristotele e Tommaso definiscono come *causa formale* non è altro che un principio di ordinamento della catena causale e di eventi che emerge durante il processo e, al limite, al termine di esso (*forma finis materiae*). Non è operante però alcuna causalità finale nel senso di associare una funzione efficiente, producente effetti, al semplice «dover essere» di un ente/evento.
    - Per quanto riguarda processi causali del medesimo tipo, ma che entrano a far parte di *comportamenti intenzionali* di soggetti animali capaci di essi, gli stati finali potrebbero esercitare una funzione di causalità efficiente, ma non in quanto tali, bensì in quanto stati finali rappresentati nella mente e/o nel cervello del sogget-

to agente intenzionale, così che, di nuovo, la causalità efficiente è tutta e solo nella causa agente.

- Intimamente legato al discorso precedente è il valore *epistemico* che Tommaso associa agli stati finali di processi del genere, dove il legame logico necessitante che caratterizza la legge fisica di tipo ipotetico che formalizza la relazione causale di questi processi è qualcosa che emerge dalla fine del processo e non dal suo inizio. La retro–causazione ha insomma valore epistemico non ontico[169].

Differenza col contesto epistemico del finalismo intenzionale

Come si vede siamo qui di fronte ad un ulteriore caso di finalismo *esplicativo,* senza valore ontico (lo stato finale del processo non causa onticamente nulla, non fa esistere nulla a livello fisico), ma con un valore *epistemico,* legato cioè sempre all'atto cognitivo di un soggetto non agente, però, stavolta, come nel caso del finalismo intenzionale, ma *conoscente.* Il soggetto consapevole qui non è chiamato a produrre alcun evento esterno mediante un comportamento intenzionale, ma a produrre un evento interno alla sua mente: un aumento di conoscenza.

Rapporto col processo di induzione costitutiva dell'*inventio medii* sillogistica

Ci troviamo cioè di fronte ad un'esemplificazione nel linguaggio di Tommaso di quel processo di induzione costitutiva dell'ipotesi di una procedura dimostrativa ipotetico–deduttiva, di cui abbiamo parlato al Capitolo 4, nel contesto dell'epistemologia contemporanea. Nel contesto cioè più ampio e complesso dell'inserzione di una procedura sillogistica d'invenzione/scoperta (*inventio medii*) per la costituzione di procedure ipotetico–deduttive di prova, tipiche della logica proposizionale della scienza moderna.

## 6.3.3 Modello tomista di causalità metafisica

### 6.3.3.1 Rilevanza cosmologica del modello

La distinzione essere–essenza dalla meta–logica alla metafisica

Abbiamo visto finora l'importanza della distinzione tommasiana *essere–essenza* nella teoria dei fondamenti della logica, per quella parte della metafisica cioè che studia i fondamenti dell'*ente logico*: la meta–logica. Occorre ora vedere la medesima distinzione anche dal punto di vista dell'altra parte principale della metafisica, quella cioè che studia i fondamenti dell'*ente fisico.* Si tratta della meta–fisica, propriamente detta, talvolta definita da Tommaso stesso *trans–physicam.* Una disciplina che, come ricorda Aristotele fin dal Primo Libro della sua *Metafisica,* si trova a stretto contatto con

[169] Alle medesime conclusioni, di critica alla «versione forte» del principio antropico e di accettazione delle posizioni aristotelica e tomista ben attente, invece, a non confondere causalità efficiente e finale, giunge l'ottimo (Castagnino & Sanguineti 2000, 159s.)

la *cosmologia*. Con quella parte cioè della scienza fisica che studia la struttura e l'origine del cosmo, dell'universo fisico, nella sua interezza[170].

Relazione fra la teoria dei fondamenti della fisica e della cosmologia e metafisica della nozione di causalità

Oggi come oggi lo studio dei fondamenti della fisica, nei suoi stretti legami con la cosmologia quanto–relativista è uno dei campi più interessanti, profondi ed affascinanti della fisica teorica. Essa sostanzialmente si confronta col problema che appassionò gli ultimi quarant'anni della vita e della ricerca dello stesso Albert Einstein, senza che a tutt'oggi una soluzione accettabile sia stata trovata: *una teoria unificata* della meccanica relativistica e di quella quantistica. Al di là delle questioni più strettamente tecniche e fisico–matematiche che qui non possiamo neanche accennare, una questione resta comunque sullo sfondo che interessa più direttamente il metafisico.

Si tratta della questione dello stesso fondamento del *principio di causalità in fisica* che ha appassionato i cultori della meccanica quantistica fin dal suo sorgere (Cfr. sopra § 4.1, spec. pag. 227). Più generalmente e radicalmente oggi il problema si pone come quello del *fondamento ultimo dello stesso determinismo delle leggi e delle cause fisiche all'interno dell'universo*, posto che, come amava ripetere Einstein, «Dio non gioca a dadi». Posto cioè che la stessa realtà della ricerca scientifica supponga l'esistenza di un ordine oggettivo del cosmo che ha bisogno di una giustificazione altrettanto ragionevole, al di là o al di qua di ogni convinzione religiosa e/o di ogni opinione ideologica più o meno *politically correct*, a seconda delle epoche e delle contingenze pubblicitarie.

La presa di posizione di S. Hawking

Esprimiamo qui tale questione nei termini in cui l'ha posta uno dei più famosi e profondi fisici teorici del nostro secolo, religiosamente agnostico, e dunque non certo imputabile di «condizionamenti ideologici» in senso teologico e men che mai apologetico. In uno dei suoi ultimi libri, alla domanda di un'intervistatrice della BBC, Sue Lawley, che chiedeva a Hawking se con la sua ricerca sui fondamenti della cosmologia, «fosse riuscito del tutto a fare a meno di Dio», Hawking ha risposto:

---

[170] Non sconvolga il lettore un'affermazione del genere, perché abituato, fin dai banchi del liceo, ad affermare che in Aristotele manca qualsiasi idea evolutiva del cosmo, perché credeva nell'eternità di esso. Quest'affermazione è solo in parte vera: per lui era eterna ed immutabile solo quella parte del cosmo fisico che riguardava i corpi fisici celesti. I corpi fisici terrestri erano invece soggetti ad incessante divenire evolutivo, anzi la terra stessa, all'inizio era un *migma* disordinato di elementi dal quale poi, per progressivo raffreddamento, ha cominciato a separarsi, prima un centro freddo di corpi minerali che sono andati a formare il pianeta terra, e quindi uno strato intermedio fra la terra e i corpi celesti, i corpi viventi o organismi, che costituiscono quella che oggi in cosmologia chiamiamo *biosfera*. È questa la tesi fondamentale dei due trattati di Aristotele di cosmologia (*De Caelo*) e di termodinamica «non lineare» (*De Generatione et Corruptione*).

> Tutto ciò che la mia opera ha dimostrato è che non si deve dire che il modo con cui l'universo ha avuto inizio sia stato un capriccio personale di Dio. Rimane però ancora. la domanda: *perché l'universo si dà la pena di esistere. Se crede, può dire che Dio sia la risposta a questa domanda* (Hawking 1993, 204).

Critica di Hawking alla versione «forte» del principio antropico

Hawking ci sta dicendo col suo linguaggio stringato, che la sua ha voluto essere solo una critica a coloro che, col difendere una versione «forte» del «principio antropico» in cosmologia (Cfr. sopra, § 4.1, spec. pagg. 229ss.) intendono fare del Creatore il «deus ex machina» che arbitrariamente stabilisce le condizioni iniziali del nostro universo in modo che portino fino a noi. Se vogliamo, la sua posizione fa da *pendant* alla critica logica del principio antropico «forte» di Galvan, a conferma dell'universalità delle leggi logiche per credenti e non–credenti[171].

Il problema, in breve è il seguente. Nella visione «classica» della teoria della relatività, il *big–bang* è visto come una «singolarità» dello spazio–tempo curvo della relatività generale. Il problema è che quando si cerca di tornare indietro dall'oggi sino alle condizioni iniziali dell'universo seguendo le leggi *reversibili* della relatività generale, siccome quando ci si approssima alla supposta singolarità iniziale — si cercano cioè di ricostruire formalmente lo stato dell'universo pochi istanti dopo il big–bang quando esso aveva dimensioni molto piccole —, le leggi della relatività generale non valgono più ed entrano in gioco le leggi della quantistica, non è possibile a partire dallo stato attuale dell'universo definire univocamente le condizioni iniziali. L'universo cioè si comporta come se fosse un sistema instabile in cui dallo stato finale è impossibile risalire a condizioni iniziali uniche. Quindi tali condizioni devono essere considerate come «arbitrarie» e perciò devono essere state scelte con esattezza pressoché assoluta da «Qualcuno» onnisciente, così da consentire l'evoluzione dell'universo in modo da rendere possibile l'apparizione della vita e dell'uomo.

---

171 Da questo punto di vista, nei suoi scritti, Hawking ama ripetere che la versione «debole» del principio antropico, ovvero l'alta improbabilità dell'apparire della vita e della vita intelligente nell'universo, è tutt'altro che scientificamente infondata ed è anzi «ciò che dev'essere spiegato». Il modo più semplice per farlo è quello di supporre l'esistenza di infiniti universi, una supposizione che è alla base di molteplici modelli cosmologici alternativi — quello di Hawking compreso — alla versione «forte» del principio antropico. In estrema sintesi, ciò che è altamente improbabile in un *unico* universo cessa di essere tale in una funzione di distribuzione mediata su infiniti universi.

La teoria sui fondamenti di Hawking e il formalismo di Feynman della «somma sulle storie»

La teoria di Hawking parte invece da un'altra ipotesi, perfettamente coerente e tendente ad evitare ogni arbitrarietà. Afferma infatti che qualsiasi «teoria di grande unificazione» fra meccanica quantistica e relativistica non potrà fare a meno di un ingrediente essenziale del formalismo quantista: «la somma sulle storie» o «integrali di percorso» (*path integrals*) di R. Feynman per descrivere l'evoluzione delle particelle quantistiche, integrali che sono definiti su un tempo descritto mediante numeri immaginari.

Nella teoria di Hawking *big–bang* e *big–crunch* non sono più singolarità. La storia di ogni universo ciascuno col suo tempo interno avviene all'interno di un tempo eterno «circolare»

Se inseriamo questo formalismo della «somma sulle storie», definite su un tempo immaginario, in una geometria dello spazio–tempo curvo della relatività generale e se supponiamo che lo spazio–tempo curvo della relatività abbia proprietà «euclidee», ovvero consideri la direzione temporale reversibile alla stregua delle tre direzioni spaziali (il tempo irreversibile sempre crescente dal passato verso il futuro, quello descritto sui numeri reali, è «interno» a ciascun universo), non saremo più costretti a definire il *big–bang* (e l'eventuale *big–crunch* del collasso gravitazionale finale) come singolarità «al bordo» della geometria spazio–temporale dell'universo «globale» (una sorta di meta–universo).

Essi sarebbero rappresentabili come due (degli infiniti possibili) poli opposti, appartenenti ad una medesima sfera del tempo immaginario entro cui definire gli integrali di percorso delle storie di tutti i possibili, infiniti, universi. Ovvero, di tutte le possibili infinite storie che l'(gli) universo(i) potrebbe(ro) percorrere, ciascuno col suo tempo interno *sempre crescente* definito sui numeri reali, le più probabili sono quelle che assomiglierebbero alla superficie della terra (= *geodetiche** del tempo immaginario). Il tempo «globale» in questo modello cosmologico sarebbe dunque *eterno.* All'interno dello spazio–tempo curvo di Hawking, ogni universo comincerebbe, infatti, da una regione minima (polo) della sfera spazio–temporale, evolverebbe lungo la sua geodetica espandendosi fino a un massimo (equatore) della sfera spazio–temporale, per collassare poi fino ad una regione minima (polo opposto) della sfera spazio–temporale (Cfr. Figura 6-1).

> C'è la possibilità che lo spazio–tempo sia finito e nondimeno non abbia alcuna singolarità che ne formi un confine o un bordo. Lo spazio–tempo sarebbe allora come la superficie della terra, con l'unica differenza di avere quattro dimensioni anziché due. La superficie della terra è finita, ma non ha un confine o un bordo. Se si parte per mare diretti verso ponente, non ci si imbatte in alcuna singolarità né si cade giù dalla terra (Hawking 1988, 160).

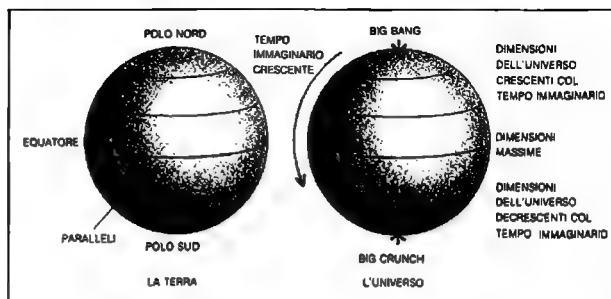



Figura 6-1. Rappresentazione visiva dell'ipotesi di Hawking. Da (Hawking 1988, 162).

Valore ipotetico della teoria di Hawking

Una teoria questa che — secondo l'interpretazione autentica datane da Hawking e qui ricordata — innanzitutto non pretende — e oggi come si potrebbe? — di essere apodittica, ma solo *ipotetica*, per quanto consistente con le principali leggi della relatività e della quantistica. Esattamente come un'ipotesi consistente con le medesime leggi è anche l'altra che dice l'opposto, del *big–bang* e del *big–crunch* come singolarità, intendendo quindi, ontologicamente, il *big–bang* come una sorta di inizio assoluto dell'unico universo, quello in cui viviamo.

Il determinismo di tale teoria richiede però un principio che fondi l'esistenza di un tale oggetto e che dev'essere necessariamente «fuori» l'oggetto stesso, non essendo possibili fondazioni autoreferenziali

Allo stesso tempo però, proprio per il suo *determinismo*, il modello di Háwking non nega per niente anzi richiede la presenza di un Principio in grado di giustificare il «perché esiste» un universo siffatto, come Hawking stesso coerentemente ha riconosciuto nella citazione del suo libro sopra riportata (Cfr. p. 458). Una questione molto meglio metafisicamente impostata da Hawking, perché non rischia di confondere questo Principio con «le condizioni iniziali» dell'evoluzione del nostro universo. Il problema del Fondamento dell'esistenza dell'universo è ben distinto, metafisicamente, da quello di un suo ipotetico «inizio assoluto». Sulla necessità di porre il secondo quesito, quello dell'inizio, come su ogni ipotesi, si può discutere. Sulla necessità di porre il primo, per chi come Hawking accetta l'uso della logica nell'indagare anche le questioni ultime, senza cedere a sentimenti o ideologie, no.

Il salto che Hawking non ha fatto e non intendeva fare è dunque solo quello della fede. Quello consistente nel dettato finale di tutte le cinque «prove» tomiste dell'esistenza di Dio. Il salto di definire «Dio», e il Dio della Bibbia, questo Principio: «se crede, può dire che Dio sia la risposta a questa domanda», concludeva Hawking, la sua risposta all'intervistatrice. Infatti tutte le «prove» tomiste, dopo aver dimostrato la necessità di questo Principio che spiega *perché* l'universo «si prende la pena di esistere», terminano con la frase: «e questo lo chiamiamo Dio» (*et*

*hoc dicimus deum* (*S. Th.,* I, 2 , 3c)). Dunque, non si tratta propriamente di prove dell'esistenza di Dio, quanto di un Principio Assoluto dell'universo che ne costituisca il suo ultimo «perché», ovvero la sua Prima Causa. Spetta alla fede e alle diverse convinzioni religiose fare il «salto» se definire «Dio» come Colui che s'identifica o meno con tale Principio, nella misura in cui il «Dio» di quel credo religioso è compatibile con tale nozione di Principio Assoluto e Trascendente. Un'identificazione che un buddista, per esempio, non potrebbe mai accettare…

La continuità di tale ontologia non–teologica della cosmologia moderna, proposta da Hawking, con la metafisica tomista è testimoniata dal fatto che ambedue convengono nell'asserto principale: quello dell'ammettere l'ipotesi dell'eternità dell'universo. Dal punto di vista strettamente metafisico, infatti, per Tommaso, come approfondiremo subito, l'esistenza necessaria del Principio o della Causa Prima è perfettamente compatibile, tanto con un'ipotesi cosmologica di un inizio assoluto dell'universo — come oggi nei modelli cosmologici che si rifanno all'ipotesi del «big–bang» come inizio assoluto — tanto con l'ipotesi cosmologica opposta, quella che lo nega.

Tre conseguenze:
1. anche nel caso di universo eterno resta il problema della sua causa
2. Il problema della causa dell'universo diverso da quello del suo inizio
3. Tale causa non corrisponde ad alcuna di quelle di Aristotele

Ciò che questa discussione per quanto sommaria ci ha aiutato a delineare è dunque un triplice problema:

- Se si concepisce l'ordine del cosmo come una sua proprietà oggettiva, nasce immediatamente il problema del suo fondamento, del «perché l'universo si dà la pena di esistere» e di esistere così, nel linguaggio di Hawking.
- Tale questione va distinta da quella del presunto inizio temporale dell'universo, visto che la questione di un inizio assoluto o meno dell'universo, ovvero la questione della sua eternità temporale o meno, non è questione metafisicamente e cosmologicamente decidibile, diversamente dalla precedente. Sono ambedue ipotesi coerenti con le leggi della fisica, almeno quelle da noi conosciute.
- È chiaro che il «perché» cui Hawking intende dare una risposta non è nessuno dei quattro già individuati da Aristotele con la sua dottrina delle quattro cause (Cfr. § 6.3.2.1, pp. 431ss.), ma in qualche modo li include e li precede. In altri termini, il «perché» individuato da Hawking riguarda una nozione di causa più fondamentale, la più fondamentale che si possa concepire. Quella che riguarda non solo l'essenza, la sostanza seconda, ma tutto l'essere, sostanzialità prima e seconda, di ogni ente che compone l'universo fisico. A tale causalità, come sappiamo, Tommaso d'Aquino nel Medio Evo, con la

sua dottrina della partecipazione dell'essere come atto dall'Atto Puro, ha dato un nome ed un contenuto.

Teoria tomista della causalità: cause (enti) fisiche *in sé* contingenti, ma *per sé* necessarie (= ordinate) all'accadimento di eventi

Secondo la dottrina tomista, tutti gli enti che compongono l'universo fisico, l'uomo compreso, sono metafisicamente composti da *atto* e *potenza*, essere ed essenza e, dal punto di vista dell'ontologia fisica, forma e materia. Dal punto di vista della metafisica generale, ogni ente è un'*entità* che non esaurisce tutta la ricchezza «intensionale» dell'essere come atto, come attualità di ogni forma, ma avendo un'essenza limitata, partecipa di esso in modo finito. Ciò è intrinsecamente legato alla *contingenza dell'esistenza* di questi enti. Al fatto cioè che la loro *esistenza in atto* con quell'essenza, con quell'insieme di proprietà, dipende da un concorso di cause *necessarie* a farli *esistere* ed esistere *così* come quell'entità con certe proprietà e non altre. Come sappiamo (Cfr. § 5.5.2, pp. 356ss., spec. Figura 5-3, p. 363), questo concorso causale di cause necessarie all'esistenza di un ente si compone di un duplice ordine:

- Di enti con entità limitate che sono cause *per sé necessarie* ed *in sé contingenti*, nonché del loro *ordinamento*, anche se non necessariamente univoco;

- Di un Essere Sussistente la cui Entità coincide con l'essere e che è Causa che *trascende* la collezione precedente, essendo in sé e per sé necessaria, tale perciò da poter dare consistenza all'intero sistema.

Causalità metafisica assoluta è fuori del tempo e *simultanea* ad ogni istante del tempo all'interno dell'universo

Per il momento, per sintetizzare quanto in seguito diremo, possiamo anticipare che, l'Essere Sussistente partecipa l'essere a tutti gli enti subumani[172] con un *unico atto creativo* «dal di fuori del tempo» (Cfr. Tommaso d'Aq., *S.Th.* I,45,3c) che è *simultaneo* rispetto a qualsiasi avvenimento accada nello spazio-tempo all'interno dell'universo, ma che, a noi che viviamo dall'interno dello spazio-tempo appare come «diluito» nel tempo. E questo per il fatto che le forme che determinano le essenze di quegli enti vengono all'esistenza (sono attualizzate) nella materia per il concor-

[172] Per quanto riguarda enti fisici dotati di intelligenza e libertà, quali l'uomo — ma il ragionamento si applica anche a qualsiasi altro possibile abitatore intelligente di chissà quale pianeta —, capaci di trascendere con le loro facoltà mentali il determinismo fisico di cui pure sono parte integrante colla materia del loro corpo, bisogna ipotizzare, per giustificare questa capacità della loro mente, un'ulteriore relazione di partecipazione trascendentale all'Essere Sussistente. Essa va oltre quella comune a tutti gli enti fisici e che riguarda la materia di cui questi enti intelligenti sono fatti. La «spiritualità» della mente è dunque essenzialmente una relazione trascendentale all'Essere Assoluto che, dal concepimento in poi, determina forma e sviluppo dell'essere umano a patire dal «materiale» genetico. L'anima spirituale, insomma è tutt'altro che «uno spirito nella macchina», «una cosa pensante» (*res cogitans*) dentro una «cosa estesa» (*res extensa*) di cartesiana memoria. Ma su questo torneremo nella Quarta Parte del nostro lavoro.

so causale di particolari cause seconde che, essendo contingenti, esistono, come i loro effetti, solo in particolari segmenti dello spazio-tempo[173].

### 6.3.3.2 Tempo e creazione[174]

L'essere in assoluto di ogni ente (essenza ed esistenza) dipende da una causa prima a–temporale

Per affrontare il problema della consistenza di una qualsiasi teoria evolutiva non solo dei viventi, ma più radicalmente, dell'intero cosmo degli enti fisici, occorre dapprima impostare rettamente il problema, metafisicamente più fondamentale, del rapporto fra la venuta all'esistenza attuale nel tempo dalla potenzialità della materia dei singoli enti che compongono l'universo, e la loro comune dipendenza dalla partecipazione dell'atto d'essere, come specifiche entità, ciascuna con la sua essenza. Occorre, in altre parole, impostare correttamente il problema del rapporto fra *tempo* e *creazione*, se vogliamo esprimerci in linguaggio teologico biblico.

Come abbiamo appena visto, l'*essere in assoluto di ogni ente* (= esistenza ed entità insieme) dipende dalla Causa Prima. Infatti, se è vero che ogni ente partecipa dell'essere secondo la misura della sua essenza, se l'essenza e l'esistenza di un singolo ente che esiste in una certa localizzazione dello spazio-tempo, dipendono *anche* dal concorso causale ordinato dell'insieme delle cause seconde che hanno preceduto nell'esistenza attuale quell'ente, è pure vero che, molto più radicalmente, l'entità e l'esistenza di quell'ente dipendono *definitivamente* dalla Causa Prima. Ogni ente che concorre causalmente, a determinare *per sé*, necessitativamente, l'esistenza di altri enti, proprio perché a sua volta dipende causalmente, secondo un certo ordinamento, da altri enti, dipende in ultima istanza dalla Causa Prima. Solo una Causa posta *fuori* dalla serie ordinata delle

---

[173] Nella misura in cui identifichiamo l'Essere Sussistente col Dio della Bibbia, si può dire che Dio è Causa prima in quanto *crea dal nulla* dal di fuori dello spazio-tempo *tutto l'essere* di una cosa. Nel caso degli enti fisici subumani Egli è la Causa Prima tanto del loro *sostrato materiale*, la cui origine nel tempo risale all'origine dell'universo, quanto dell'organizzazione interna del loro sostrato o *forma* che ne determina la natura e dunque l'essenza. Infatti Egli è la Causa dell'essere di quelle cause seconde e del loro ordinamento che, con la loro azione sulla materia, attualizzano quella forma in potenza nella materia e dunque determinano tanto l'*essenza* come l'*esistenza* di quella cosa in una particolare localizzazione dello spazio-tempo. Dio dunque è Causa Prima non perché *crea le forme nella materia*, ma perché crea tutto l'essere di ogni ente. In un altro testo (*S.Th.*, I,45,4c) Tommaso afferma che, propriamente, le forme «materiali» non spirituali degli enti fisici non sono create da Dio, ma «concreate» nell'unità metafisica di ogni ente che è sostanza appartenente al mondo fisico. In sintesi, «le forme corporali sono causate non come se influsse da qualche forma immateriale, ma come da una materia ridotta dalla potenza all'atto da qualche agente composto (di forma e materia)» (*S.Th.*I,65,4c).

[174] Una completa convergenza con quanto qui si cerca di ricostruire riguardo la posizione di Tommaso su questo punto delicato, può trovarsi nell'ottimo (Castagnino & Sanguineti 2000, 156ss.).

cause causate-causanti, una Causa causante ed incausata, cioè, può giustificare ultimamente l'esistenza di un siffatto insieme ordinato di cause contingenti.

La «causa metafisica» assoluta «prima» non appartiene alla successione delle cause fisiche relative «seconde», ma è fuori di essa e ne giustifica l'esistenza e l'ordinamento

Guai dunque ad intendere la Causa Prima come la prima della serie delle cause seconde, secondo quanto, per esempio, Descartes sosteneva, dicendo che Dio è Colui che dopo aver creato la materia e le sue leggi — essenzialmente il principio d'inerzia — e, dato all'universo l'impulso iniziale a muoversi, non c'entrava più nulla poi né con l'esistenza né con l'entità dei singoli enti, posti in successione causale. La Causa Prima non è «prima» in senso temporale, ma *metafisico*: essa è *fuori del tempo* ed è, semmai, *temporalmente simultanea*, a tutti e ciascuno gli istanti di tempo che «misurano» il divenire dell'universo. Per questo come non ha alcun senso cercare il «tempo–zero» assoluto dell'universo (ogni istante di tempo presuppone un *prima* e non solo un *dopo*, notava già Agostino nel IV secolo)[175], ha ancora meno senso definire con questo «tempo–zero» l'istante della creazione. La creazione non è l' «accadimento di tutti gli accadimenti» perché tale nozione è intrinsecamente contraddittoria. Infatti implica un regresso all'infinito (l'accadimento dell'accadimento di tutti gli accadimenti, etc.). Il «quando» della creazione è perciò un discorso senza senso: la creazione non è «nel» tempo, ma «fuori» del tempo, nel senso che il tempo ha cominciato ad essere col mondo e quindi noi «da dentro» il tempo e «da dentro» il divenire del mondo misurato dal tempo, *mai* potremo arrivare a «datare» la creazione, come Agostino per primo si accorse fin dagli inizi dell'Evo cristiano (Cfr. Agostino d'Ippona, *Confess.*, XI,10-13; *De Civ. Dei*, XI,6; XII, 16).

La nozione teologica di creazione fuori del tempo non ha nulla a che fare con la teoria del *big–bang* inteso come singolarità iniziale dell'universo

Si comprende bene dunque che la nozione *teologica* di creazione non ha nulla a che vedere con l'*ipotesi fisica,* legata alla teoria della relatività, dell'origine dell'universo dalla «grande esplosione» (*big bang*), innanzitutto perché tale evento è *databile,* almeno in linea di principio, quindi è *nel* tempo. Secondariamente, perché precedentemente al *big bang* non è che non esisteva assolutamente nulla dell'universo attuale: come minimo doveva esistere la totalità dell'energia caoticamente disordinata (*vuoto quantistico*) di cui il cosmo attuale (parzialmente) ordinato è costituito, come dal suo sostrato (*materia prima*). Ma addirittura, perfettamente consistente con la teoria della relatività è anche la possibilità che diversi universi abbiano preceduto e seguiranno il nostro, secondo l'ipotesi della «grande implosione» (*big crunch*), se fosse provato quel modello cosmo-

---

[175] Anche dal punto di vista della cosmologia quanto–relativista, il tempo cosmico non necessariamente dev'essere definito esclusivamente sulla retta dei reali, ma, in linea di principio, potrebbe esistere anche un tempo definito sui numeri immaginari, così da dare al tempo cosmologico una natura *complessa*. È questo l'aspetto più metafisicamente interessante della teoria cosmologica di un Hawking, per esempio.

logico che pone un limite all'attuale espansione dell'universo. In tal caso, raggiunto il raggio massimo di espansione, l'universo comincerebbe a contrarsi, a «implodere», fino a raggiungere una dimensione ridottissima da cui una nuova esplosione ed un nuovo universo potrebbero cominciare ad esistere.

Carattere ipotetico delle teorie che affermano o negano l'inizio assoluto dell'universo con il big–bang

Oltre questa ipotesi «ciclica» del susseguirsi di molti universi, oggi di nuovo tornata in auge fra i cosmologi dopo alcuni decenni di oblio, la teoria della relatività è consistente con ipotesi, invero piuttosto peregrine al senso comune, ma che sono state comunque formulate perché dotate di una verosimiglianza matematica, all'interno di particolari modelli di cosmologia quanto–relativista, di molti (al limite, infiniti) universi simultaneamente compresenti (Cfr. nota 171, p. 459). Questa possibilità di derivare coerentemente dai medesimi assiomi della teoria della relatività modelli cosmologici che sembrerebbero avallare l'ipotesi di un inizio temporale dell'universo, come pure modelli che negano quest'ipotesi è una sorta di riprova «empirica» del carattere assolutamente *indecidibile* del problema dell'inizio dell'universo, come la metafisica scolastica ha sempre sostenuto fin dai tempi remoti di Agostino e da quelli più recenti di Tommaso.

Retta interpretazione della nozione di teologia naturale di «creazione dal nulla»

La Causa Prima è dunque «fuori» della catena delle cause seconde e tutta la sostiene, passo–passo, ente per ente, fin dall'origine dell'universo, un pochino com'è metaforicamente simbolizzato nel mito di Atlante che teneva sulle sue spalle il mondo (Cfr. Figura 5-3, p. 363). In questo senso, nella teologia metafisica, si può e si deve dire non solo che Dio, con un unico atto creativo che è fuori del tempo, ha creato tutti gli enti contingenti che compongono l'universo fisico, nelle loro componenti attuali e potenziali, *essere* ed *essenza, entità, forma e materia.* Ma si deve anche dire che, siccome l'universo altro non è che l'insieme di tutto ciò che è esistito, che esiste e che esisterà, ogni ente che compone l'universo, anche se viene all'esistenza attuale molto dopo le origini dell'universo fisico, è sempre *creato da Dio,* in quell'unico atto creativo, che non suppone nulla che non sia Dio stesso (p.es., una materia caotica da ordinare come nelle cosmologie teologiche di tipo non–biblico).

«Creazione dal nulla»: tutto l'essere di ogni ente, nulla escluso di esso, deriva dall'Essere Sussistente

Con l'espressione *creatio ex nihilo,* «creazione dal nulla» non si intende infatti nella teologia metafisica, cristiana in generale e tomista in particolare, che «prima» c'era, esisteva, il nulla, «poi» l'essere della totalità degli enti esistenti nel tempo. S'intende innanzitutto che *tutto l'essere dell'ente, nulla escluso di quell'ente,* materia e forma, essenza ed essere, hanno la loro origine, il loro Principio, lo Ἀρχή dei greci, nell'Essere Sussistente, nell'Essere senza alcuna potenzialità dell'Atto Puro (Cfr. *S.Th.,* I,46,3, ad 2). Mai la metafisica scolastica ha voluto affermare con la dottrina della *creatio ex nihilo* l'esistenza–del–nulla dell'ente o la non–esistenza–dell'essere–

dell'ente. Tutte espressioni, prima che vere o false, *senza senso,* perché violano il primo principio della metalogica e della metafisica: il p.d.n.c. In questo senso, ogni ente *da sempre* e *per sempre* esiste in Dio come nella sua Causa Prima, anche se *non sempre e per sempre esiste potenzialmente o attualmente* nell'universo, degli enti contingenti, composti di potenza e atto, metafisicamente (essenza ed essere) e fisicamente (materia e forma). Per questo il senso proprio della *creatio ex nihilo* è quello della creazione *post nihilum* (Cfr. *S.Th.,* I,46,3, ad 2). Espressione che non va intesa nel senso assurdo dell'esistenza primordiale del nulla, ma, come specifica bene Tommaso, nel senso che, prima della creazione, non esisteva alcun ente (*nullum ens*) — quindi il non essere non è —, ma solo l'Essere Sussistente, Principio da cui tutto l'essere dell'ente «dopo» la creazione dipende. Questo con buona pace di E. Severino che, invece, non ha mai compreso questo punto, accusando infondatamente la metafisica tomista e, più generalmente la dottrina scolastica della *creatio ex nihilo* di contraddittorietà, di ammettere cioè l'esistenza del *non essere* o la non–esistenza dell'*essere* (Basti & Perrone 1996).

> (...) Occorre considerare non solo l'emanazione di un qualche essere particolare da un qualche particolare agente, ma anche l'emanazione della totalità dell'essere da una causa universale che è Dio: e questa emanazione la designamo col nome di *creazione.* Ciò che deriva da un'emanazione particolare non è presupposto all'emanazione: così se un uomo è generato *prima non vi era un uomo,* ma l'uomo viene da ciò che non è uomo (p.es., da un certo materiale genetico prima del concepimento), e il bianco viene dal non bianco. Ma, se consideriamo l'emanzaione di tutto l'essere dell'universo da un unico principio, *è impossibile che un qualche ente sia presupposto a quet'emanazione.* Questo è il nulla, nel senso di *nessun ente* (*nullum ens*) (*S. Th.*, I, 45, 1c).

La creazione è la relazione originaria, trascendentale di tutto l'essere di ciascun ente con l'Essere Sussistente

Tutto l'essere di quell'ente, il suo «essere in assoluto» (*esse absolute*), al di là del quale, appunto, non ci sarebbe nulla di quell'ente, dipende ultimamente da Dio. L'essere dell'ente, l'essere relativo dell'entità — della partecipazione all'essere come atto, dipendente dall'Agente divino — e quindi dell'esistenza attuale di un ente nello spazio–tempo dipendono causalmente e nella loro totalità dall'Essere Sussistente: l'essere viene dall'Essere. La creazione non è il passaggio dal nulla all'essere di un determinato ente o della totalità degli enti (universo), come se *prima* dell'esistenza dell'universo esistesse *il nulla.* Il nulla *non è,* come dai tempi di Parmenide dovrebbe essere chiaro a chiunque si diletti di questioni filosofiche e affini! Quindi non può esistere né prima, né dopo, né mai. La creazione è la relazione causale trascendentale dall'Essere Sussistente all'ente contingente, indipendentemente da ogni divenire — il divenire ha da essere fondato metafisicamente e non è fondante, come da Par-

menide in poi è divenuto chiaro a tutta la metafisica occidentale (Cfr. § 5.1.4, pp. 310ss.) — e quindi indipendentemente da ogni temporalità. Il nulla insomma, come già Parmenide aveva intuito — ed è bene non stancarsi mai di ripeterlo —, semplicemente *non è*.

Problema dell'inizio assoluto legato alla natura personale di Dio

Correttamente, ricorda Tommaso, la questione di un inizio assoluto dell'universo in quanto distinto dall'affermazione metafisica dell'esistenza *ab aeterno* del mondo nella sua Prima Causa, si pone solo dopo che la fede ci ha aiutato a comprendere la natura personale della Prima Causa, ovvero che si tratta di un Dio Personale. In quel caso infatti la dipendenza *ab aeterno* dell'universo dalla sua Prima Causa può benissimo coniugarsi con un'esistenza *non ab aeterno* dell'universo, entrando come intermediaria l'Intelligenza e la Libera Volontà, insindacabili, di un Creatore (*S. Th.* I, 46, 2c).

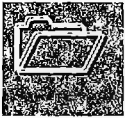
Anche per la Bibbia all'inizio non c'era il nulla, ma solo Dio

Anche per la Bibbia, che ci rivela un inizio assoluto dell'universo, «prima» della sua creazione non è che non ci fosse «nulla»: c'era solo Dio e il mondo *ab aeterno* nella Sua volontà creatrice. Come un'opera d'ingegno che «prima» di essere prodotta dal suo artefice non è che non esiste in assoluto: esiste — e come! — nella mente dell'artefice: «In principio, il Signore Dio», non nulla, recita il primo versetto del Genesi. «In principio, il Signore Dio creò *il cielo* — ovvero la sorgente immanente all'universo di tutto il suo ordine — e *la terra*. E la terra informe e vuota» — ovvero il caos primordiale, racchiuso e ordinato nei suoi principi ordinatori, immanenti: «il cielo». La differenza, dunque è che, mentre per l'opera d'ingegno umano, essa è prodotta dall'artefice a partire, non solo dall'idea presente nella sua mente, ma anche da una materia preesistente fuori di essa — ogni «creazione», opera dell'ingegno umano è *ex nihilo sui*, «a partire dal nulla di sé», ma non *ex nihilo subiecti*, «dal nulla del soggetto» materiale in cui viene implementata, realizzata —, per la «creazione» divina l'opera è prodotta a partire anche dal «nulla del soggetto materiale»: *ex nihilo sui et subiecti*. Anch'esso, cioè, dipende, da sempre, dall'intenzione creatrice dell'Artefice Divino. In questo la teologia biblica della creazione si distingue da tutte le mitologie extra-bibliche, orientali ed occidentali, antiche e moderne, religiose e filosofiche — inclusi anche Platone ed Aristotele — di creazione. Tutte accomunate da un'antropologizzazione della nozione di creazione, ovvero dall'idea che essa consiste nel semplice ordinamento del caos della materia primordiale, dell'implementazione di una forma, di un ordine, nella materia, come per il Demiurgo platonico o il Motore Immobile aristotelico o, per emigrare in oriente, per le dottrine taoiste dello *yin* e *yan*, oggi tanto di moda anche in occidente.

Per sintetizzare la nostra discussione su questo problema, essenziale per una retta comprensione della *questione dell'evoluzione*, tanto dell'universo fi-

sico nel suo insieme come dell'universo biologico in particolare e di cui ci occuperemo nella Parte Terza e Quarta nel Secondo Volume di questo nostro lavoro, bisogna perciò tener fermi due punti riguardo a ciò che è dimostrabile mediante la ragione e ciò che non è dimostrabile mediante di essa ed è quindi accertabile solo per fede, sulla *verità rivelata* dell'inizio del mondo per creazione da parte di Dio («In principio il Signore Iddio creò il cielo e la terra», *Gen* 1,1):

La necessità della Causa Prima è dimostrabile metafisicamente

- È perfettamente dimostrabile metafisicamente la necessità di una Causa Prima, posta fuori dell'universo, del suo divenire e dunque del tempo, da cui l'essere di ogni ente che è esistito, esiste ed esisterà dipende per partecipazione. Nei termini di Hawking è la risposta metafisica alla questione *fondamentale, ineludibile* a chiunque ragioni, del «perché l'universo si prenda la pena di esistere», domanda che resta, comunque, al di là di qualsiasi ipotesi cosmologica sull'eternità o meno dell'universo. Così rispondeva, infatti, il credente Tommaso alla domanda «cos'è la creazione?», di nuovo in continuità con quanto Hawking affermava: «se si crede, può dire che Dio è la risposta a questa domanda», ovvero si può attribuire il nome «Dio» alla Causa Prima:

> Ciò che è creato passa all'esistenza senza alcun divenire né alcuna mutazione, perché ogni divenire ed ogni mutazione presuppongono che qualcosa esista prima. Quindi Dio nel creare produce le cose senza alcuna mutazione. (...) Se pertanto da una qualche azione viene sottratto il divenire, non resta che la relazione. (...) Quindi *la creazione nella creatura altro non è che una qualche relazione col creatore, come col principio del suo essere* (*S.Th.*, I,45,3c).

Nella dottrina teologica cristiana della creazione, dunque, la dipendenza nell'essere di ogni ente da un *Assoluto trascendente*, è qualcosa che, sia è oggetto di rivelazione ed è accettato per fede — nel qual caso l'Assoluto in questione si identifica col Dio della rivelazione biblica —; sia è oggetto di dimostrazione metafisica e *si è necessitati* ad accettare per ragionamento, prescindendo da qualsiasi fede religiosa, ma semplicemente ponendo determinati assiomi di una particolare teoria metafisica. Nel caso specifico della metafisica tomista, l'assioma fondamentale dell'essere come atto.

La dottrina teologica di un inzio assoluto dell'universo è indecidibile metafisicamente

- Ciò che invece della dottrina teologica cristiana della creazione non potrà mai essere dimostrato razionalmente è il concetto d'inizio assoluto dell'universo. L'esistenza temporale dell'universo è infatti logicamente compatibile, sia con una risposta positiva che negativa a questa domanda (*S.Th.,* 46, 1 ad7), come anche l'attuale dibattito cosmologico sulla singolarità o meno del big bang prova — si tratta

cioè di un problema logicamente indecidibile, essendo un classico problema autoreferenziale, più esattamente *impredicativo*. Afferma infatti Tommaso a tal proposito:

> Bisogna dire che il fatto che il mondo non sia esistito da sempre è qualcosa che non può essere provato in forma dimostrativa (...). Ed il motivo è che la novità assoluta del mondo non può ricevere una dimostrazione che proceda dall'esistenza del mondo stesso (...). Ogni cosa infatti, se considerata in ragione della sua specie, astrae da modalità spazio-temporali (*anstrahit ab hic et nunc*): per cui si dice che gli universali sono ovunque e sempre (*S.Th.*, I,46,2).

Impredicatività della dimostrazione cosmologica di un inizio assoluto del mondo

In altri termini, se volessi dimostrare a partire dall'esistenza del mondo, che il mondo in assoluto abbia avuto un inizio, sarebbe come se pretendessi di negare nella tesi l'esistenza ad un certo momento di un qualcosa che, per ipotesi, ho affermato esistere in un altro momento successivo, dovendo, per garantire universalità alla dimostrazione, vincolare le variabili, ovvero supporre che questo qualcosa comunque esista.

Impossibilità della dimostrazione teologica di un inizio assoluto del mondo

Ugualmente, continua Tommaso nel medesimo articolo, dal punto di vista di una teologia metafisica, ovvero supponendo per dimostrata la necessità di una Causa Prima, non esistono motivi razionali sufficienti a decidere che questa Causa debba creare il mondo *ab aterno* o no.

L'inizio assoluto dell'universo può essere solo rivelato non dimostrato e accettato per fede, non per ragionamento

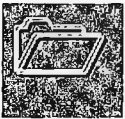
L'idea di un inizio assoluto di un universo temporale può essere perciò solo oggetto di rivelazione e può essere accettata solo per fede. Ovvero, la questione dell'inizio del mondo, come tutti i problemi autoreferenziali, ammette risposte decidibili solo «esterne» al sistema in cui è formulato. In conclusione, metafisicamente, sia partendo dal mondo che dalla Causa Prima, non si può mai escludere la possibilità di una coeternità del mondo con l'Assoluto trascendente su cui si fonda, sebbene tale possibilità a sua volta non escluda la necessità di una dipendenza nell'essere del mondo da questo Assoluto.

> È evidente infatti che il mondo conduce alla conoscenza della potenza divina creante, sia che il mondo non sia da sempre, sia che da sempre sia stato: tutto ciò che non esiste da sempre è evidente che sia causato, anche se questo non è così immediato di ciò che è stato da sempre (*S.Th.*, 46,1 ad7).

La rivelazione dell'inizio assoluto non contraddice alcuna verità razionale causa l'indecidibilità della questione

La possibilità della coeternità del mondo con Dio può venire esclusa solo dalla Rivelazione, *fra l'altro senza mai venire in contraddizione con alcuna verità razionale, universale e necessaria*, visto il carattere indecidibile della questione, sia dal punto di vista di una metafisica cosmologica che teologica. Può essere perciò affermata solo per fede basata su una rivelazione extra–razionale la dottrina che il mondo abbia avuto un inizio assoluto. Un «inizio» da concepire, comunque, fuori del tempo, nel senso che in-

clude la totalità del tempo, per quanto detto a proposito di una nozione metafisicamente consistente della Causa Prima, quale quella offerta nella teoria tomista.

In ogni caso, tutto questo dimostra l'inconsistenza sia scientifica, per le ragioni sopra ricordate, sia metafisica, per le ragioni appena dette, delle confusioni oggi molto diffuse fra dottrina teologica e metafisica della creazione e ipotesi fisica dell'origine dell'universo dal *big-bang*. A tale riguardo va sempre tenuto presente il severo monito di Tommaso, posto a conclusione dell'articolo della *Summa* appena citato, contro tutti coloro che pretendono di rendere oggetto di dimostrazione razionale tale dottrina dell'inizio assoluto dell'universo, ovvero che pretendono di negare con la sola ragione la possibilità di un'eternità del mondo:

> Che il mondo abbia avuto un inizio è qualcosa oggetto di fede, ma non né dimostrabile né conoscibile (con la sola ragione, *N.d.R.*). È bene considerare e riflettere su tutto questo, affinché qualcuno, pretendendo di dimostrare ciò che è oggetto di fede, non porti a sostegno di questa sua pretesa delle motivazioni che non possono dimostrare nulla, così da offrire materia di irrisione ai non credenti che allora potrebbero pensare che noi crediamo certe verità non per fede, ma per queste false motivazioni (*S.Th.*, I,46,2).

Piena compatibilità di creazione ed evoluzione

Chiarito il senso metafisico corretto del rapporto esistente fra tempo e partecipazione dell'atto d'essere, si intuisce immediatamente come *creazione* degli enti da parte della Causa Prima *fuori del tempo*, ed *evoluzione* dei medesimi *nel tempo* da parte del concorso causale delle cause seconde, possano perfettamente convivere senza contraddizione. Ma di questo punto specifico del rapporto fra teoria teologica della creazione e teoria cosmologica e biologica dell'evoluzione ci occuperemo rispettivamente nella Parte Terza e Quarta del Secondo Volume di questo lavoro.

## 6.4 Sommario del Sesto Capitolo

All'inizio di questo sesto capitolo, accennando alla metalogica del linguaggio metafisico tomista (§ 6.1), così come veniva espresso nella distinzione di Tommaso (§ 6.1.1) fra *analisi logica del linguaggio in supposizione materiale* (= analisi sintattica) ed *in supposizione formale* (= analisi semantica), ci siamo concentrati sull'analisi della copula «è» di ogni enunciato predicativo (§ 6.1.2). Abbiamo visto che nella formula schematica universale di ogni enunciato predicativo «$x$ è ente», «essere ente» non significa primariamente «essere esistente», ma «essere *ciò che è*», «essere con una propria *entità*», dove il «ciò che» è espresso dal nome verbale alle destra della copula (p.es., «$x$ è uomo»). Il predicato «esiste /non-esiste» è dunque un

*metapredicato* in qualche modo coestensivo con l'altro *metapredicato* «vero/falso», nel senso che *esiste* si riferisce sempre, non al soggetto un enunciato predicativo (l' «x» della formula «x è ente»), ma al *referente* di un *intero enunciato categorico affermativo vero* — e simmetricamente *non esiste* al *referente* di un *intero enunciato categorico affermativo falso*, e viceversa. In questo senso va preso, per una filosofia della natura aristotelico–tomista moderna, anche il principio tipico della scienza moderna galileiana. Ovvero l'adagio che la natura «va interrogata» (attivamente) e non «osservata» (passivamente). Solo se sappiamo (o almeno ipotizziamo) il «ciò che è» (l'entità dell'ente) di quello che cerchiamo, possiamo interrogare la natura per sapere se quell'ente *esiste* o meno. Abbiamo accennato anche ai forti punti di contatto fra questa metalogica tomista dell'essere e le questioni affrontate dall'*ontologia formale* contemporanea, che proprio per questo dedica molta attenzione all'ontologia formale scolastica e tomista in particolare.

In base a questa distinzione fra «essere dell'essenza» o «essere proprio» o *entità* e ed «essere dell'esistenza» o *essere comune* di un ente, Tommaso rilegge in maniera originale l'affermazione classica di tutto il pensiero occidentale da Aristotele e Platone in poi che «l'essere si dice in molti modi» (§ 6.2). Fino a Tommaso, però, questi modi erano essenzialmente *modi di esistere* (necessariamente o contingentemente, in atto o in potenza, materialmente o formalmente, etc.). Oltre a questi modi di esistere, Tommaso distingue un ulteriore modo di dire essere, l'*entità* o essere dell'ente secondo la misura della propria essenza, da cui dipende la stessa modalità di esistere di un ente.

Di qui, innanzitutto, la distinzione fra i tre termini equivalenti, ma non identici di *essenza, natura* e *quidditas* di un ente (§ 6.2.1), ma soprattutto la dottrina fondamentale della metafisica tomista: la distinzione fra *essenza e atto d'essere* (§ 6.2.2). L'entità di ogni ente infatti non dice altro che il modo con cui ciascun ente *partecipa della pienezza dell'essere* secondo la limitatezza della *propria essenza*. Come, in campo fisico, la «materia» limita la «forma» nel senso che la «potenza» limita «l'atto» (p.es., nessun individuo umano concreto materiale , o collezione di essi — classe, nazione, razza, etnia, etc. — esaurisce tutta la ricchezza della «forma» umana o «umanità»), così l'essenza di un ente, o di una classe specifica di enti, limita la ricchezza inesauribile dell'essere (p.es., «l'uomo» ha molte attualità (proprietà), ma non quelle specifiche del «cane», il «cane» non ha quelle del «gatto», e così via), proprio come la «potenza» della materia individuale limita l'inesauribilità dell'«atto» della forma specifica (= principio d'individuazione: nessun uomo o gruppo umano esaurisce tutta la ricchezza dell'umanità). Ecco perché Tommaso parla *dell'essere come atto* (*esse ut actus*) o *atto d'essere* (*actus essendi*) come «realmente distinto» dall'*essenza*

— realmente distinto, quanto, appunto, un «atto» dalla sua «potenza» — come costitutivi metafisici di ogni ente (fisico, logico, matematico, materiale, spirituale, etc.), analogamente a come materia e forma sono costitutivi della sola essenza di ogni ente fisico. Solo l'Essere Assoluto avrà un'essenza «intensivamente ricca» quanto l'essere con tutte le sue attualità e sarà dunque non semplice «ente», ovvero «ciò che partecipa dell'essere», ma *l'Essere Sussistente*. Quell'Essere Unico, Semplice senza alcuna differenza o Atto Puro senza alcuna potenzialità, distinto, «separato», trascendente tutti gli altri enti nella sua Unicità irripetibile, di cui tutti gli altri enti partecipano. Siccome però ogni ente parteciperà dell'essere secondo quelle proprietà che definiscono appunto la sua specifica «essenza» o «natura», alcune proprietà di un ente risulteranno *necessarie* o *essenziali*, altre *contingenti* o *accidentali* (§ 6.2.3).

D'altra parte, dall'analisi portata avanti nel capitolo precedente, è apparso chiaro come la novità del pensiero aristotelico e tomista rispetto al resto del pensiero classico è la *fondazione causale* tanto delle *essenze* (Aristotele) come di *tutto l'essere* (Tommaso) nella sua duplice componente di *essere dell'essenza* (entità) e *essere dell'esistenza* (essere comune). S'impone quindi alla filosofia della natura una rivisitazione della dottrina aristotelica delle quattro cause in *fisica*, per vedere se essa possa suggerire un modello più adeguato di quello moderno humiano–kantiano allo studio dei sistemi complessi. Parallelamente, occorre controllare se il modello tomista della *causalità metafisica* dell'essere partecipato all'universo degli enti fisici dall'Essere Sussistente, sia compatibile o in insanabile contraddizione coi principi dell'attuale cosmologia quanto–relativista (§ 6.3.1).

Per quanto riguarda la dottrina aristotelica delle quattro cause (§ 6.3.2) — che nell'ordine fisico si riducono essenzialmente a tre (causa *efficiente*, *materiale* e *formale–finale*), potendo avere la causa *finale* a se stante un potere esplicativo solo a livello delle operazioni intenzionali —, sono indubitabili i punti di contatto con la fisica teorica attuale. In particolare, sono evidenti i punti di contatto con la distinzione fra sistemi stabili e instabili, nonché, all'interno di questi ultimi, dei sistemi stabili fuori dall'equilibrio (strutture dissipative) (§ 6.3.2.1). Gran parte dei sistemi chimici — dunque dei corpi inorganici della nostra esperienza ordinaria — e la totalità dei sistemi biologici — i corpi viventi — appartengono infatti a questa particolare categoria dei sistemi dinamici studiati dalla fisica dei sistemi complessi. La consistenza della dottrina aristotelica si mostra anche in base alla sua analisi logica secondo le linee d'indagine analitica proposte nel Medio Evo dallo stesso Tommaso (§ 6.3.2.2)e recentemente da S. Galvan, soprattutto se si confronta la dottrina aristotelica della «causa finale» con la dottrina della finalità assolutamente inconsistente del neo–platonismo plotiniano (§ 6.3.2.3). La consistenza della dottrina

aristotelica risulta dal fatto che a) non si confonde mai fra causalità efficiente e finale; b) la causalità finale acquista valore esplicativo solo nell'ordine intenzionale; c) la causalità formale–finale nell'ordine fisico è essenzialmente una forma di anti–riduzionismo dei fattori causali esplicativi dello stato finale ordinato di un sistema instabile alle sole cause iniziali. Rispetto al soggetto conoscente, ovvero nell'ordine epistemologico, si è di fronte ad una forma di retro–causazione: l'ordinamento della causa al suo effetto non è in linea di principio conoscibile a priori, ma solo a posteriori, dopo che il processo ha raggiunto il suo stato finale.

Riguardo alla compatibilità fra dottrina tomista della partecipazione e cosmologia quanto–relativista, essa può essere considerata soddisfatta su due punti (§ 6.3.3):

- Per Tommaso, ciò che può essere metafisicamente provata è la necessità di una fondazione dell'esistenza e dell'ordine dell'universo, prescindendo dall'eternità o meno di esso (§ 6.3.3.1).

- Riguardo alla questione dell'eternità o meno dell'universo questo è un problema che non può essere risolto con la sola ragione, ma resta metafisicamente indecidibile. La dottrina metafisica della partecipazione è compatibile tanto con teorie che affermano come con quelle che negano l'eternità dell'universo. Una riprova di questa indecidibilità si ha nella moderna cosmologia quanto–relativista, compatibile con modelli sia che affermano che negano l'eternità dell'universo (§ 6.3.3.2).

Il fatto che la teologia risolva la suddetta indecidibilità optando per un inizio assoluto dell'universo stesso non è in contraddizione con la fisica e la metafisica ad una duplice condizione:

- Che questa soluzione dipenda da un *surplus* d'informazione rispetto alle possibilità della mente umana, che cioè sia oggetto di rivelazione da Dio.

- Che quest' «inizio» assoluto dell'universo sia concepito comunque «fuori» del tempo: concepire un inizio assoluto del tempo nel tempo è una contraddizione in termini (§ 6.3.3.2).

## 6.5 Bibliografia del sesto capitolo

**Quando le date tra parentesi nella referenza sono diverse da quelle in calce al termine della citazione bibliografica, le prime si riferiscono all'edizione (in lingua) originale dell'opera.*

ARECCHI F. T. (2000) (A CURA DI). *Determinismo e complessità*, Armando, Roma.

ARTIGAS M., SANGUINETI J.J. (1989). *Filosofia della natura*, Le Monnier, Firenze.

BARONE F., BASTI G., TESTI C.A. (1997) (A CURA DI). *Il fare della scienza. I fondamenti e le palafitte*, Il Poligrafo, Padova, 1997.

BASTI G. & PERRONE A.L. (1996). *Le radici forti del pensiero debole: dalla metafisica, alla matematica, al calcolo*, Il Poligrafo e Pontificia Università Lateranense, Padova-Roma.

BOCHENSKI J. M. (1956). *La logica formale.* Volume I: *Dai presocratici a Leibniz.* Volume II: *La logica matematica*, ed. it. a cura di A. Conte, Einaudi, Torino, 1972.

— (1995). *Nove lezioni di logica simbolica*, ESD, Bologna.

CASTAGNINO M., SANGUINETI J.J., (2000). *Tempo e universo. Un approccio filosofico e scientifico*, Armando, Roma.

CELLUCCI C. (1998) *Le ragioni della logica*, Roma–Bari: Laterza, 2000².

EVERETT A. & HOFWEBER TH. (EDS.) (2000). *Empty names, fiction and the puzzles of non-existence*, CSLI Publications, Stanford.

GALVAN S. (1992a). *Logiche intensionali. Sistemi proposizionali di logiche modali, deontiche, epistemiche*, Angeli, Milano.

— (1992b). «Inferenza pratica e teorie del volere». In GALVAN S. (A CURA DI), *Forme di razionalità pratica*, Angeli, Milano, pp. 189-211.

— (2000). «Sul finalismo», in ARECCHI (2000), pp. 223-238.

GIORELLO G., PALOMBI F., «Dell'assenza del fondamento. Riflessioni sulla crescita della conoscenza matematica», in BARONE F. *ET AL*. (1997), pp. 181-192.

HAWKING S. W. (1988). *Dal big bang ai buchi neri*, Rizzoli, Milano, 2000.

— (1993). *Buchi neri e universi neonati. Riflessioni sull'origine e il futuro dell'universo.* Bompiani, Milano.

HÖNEN P. (1956). *Cosmologia*, Pontificia Universitas Gregoriana, Romae.

KANT I. (1781). *Prolegomeni ad ogni futura metafisica che si presenterà come scienza*, a cura di R. Assunto, Laterza, Roma–Bari, 1982¹.

LESLIE J. (1989). *Universes*, Routledge, London.

MASI R. (1960). *Cosmologia*, Pontificia Universitas Lateranensis, Romae.

PERSZYK K. J. (1993). *Non-existent Objects: Meinong and contemporary philosophy*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

SELVAGGI F. (1985). *Filosofia del mondo. Cosmologia filosofica,* Pontificia Università Gregoriana, Roma.

VAN HAGENS B. (1983). *Filosofia della natura,* Urbanian University Press, Roma.

WALLACE W. A. (1996). *Modeling of Nature. Philosophy of science and philosophy of nature in synthesis,* Catholic University of America Press, Washington D.C.

ZALTA E. (1980). «An alternative theory of non-existent objects», *Journal of Philosophical Logic* 9: 297-314.

— (1988). *Intensional logic and the metaphysics of intentionality,* MIT Press, Cambridge Ma.

# Glossario dei termini scientifici rilevanti

ALGEBRA. Scienza delle grandezze considerate nella loro accezione più generale. Nella sua versione più elementare, l'A. è un'estensione dell'aritmetica, ottenuta mediante due principi: 1) Indicare i numeri mediante lettere, senza precisarne il valore, così da definire regole di calcolo operanti direttamente sulle lettere, per ottenere risultati validi quali che siano i valori numerici che a queste si attribuiscono. 2) Introdurre i numeri negativi come estensione dei numeri aritmetici, così da eliminare l'operazione di sottrazione (ricondotta all'operazione di addizione), insieme alle limitazioni che essa comporta (necessità che il minuendo sia maggiore del sottraendo). Ne deriva un più compatto insieme di regole unificate, riguardanti non già le grandezze, ma i legami logici che fra queste intercorrono.

ALGORITMO. Procedura generale per risolvere un problema di una determinata classe (p.es., eseguire un certo tipo di calcolo complesso) attraverso una serie finita di istruzioni elementari (non ulteriormente riducibili), sequenzialmente definite senza alcuna ambiguità. P.es., è un A. la sequenza di passi di calcolo con le relative istruzioni per eseguire la divisione o la moltiplicazione con numeri a più di una cifra; oppure per la scomposizione in fattori primi di un numero, etc.

ANALISI MATEMATICA. Settore della matematica che genericamente può essere definita come avente per oggetto lo studio delle *funzioni matematiche* (v.). Ovvero, funzioni di variabili reali o complesse, nonché le loro manipolazioni, come calcolo delle *derivate* (v.), degli integrali, degli sviluppi in serie, etc. e della possibilità di ottenerli come soluzioni di *equazioni differenziali* (v.), integrali, alle differenze, etc.

ANISOTROPO: (V. ISOTROPO).

ATTRATTORE: Forme geometriche che caratterizzano il comportamento di lungo periodo dei sistemi dinamici descritti in uno *spazio delle fasi* (v.). In altri termini un attrattore rappresenta geometricamente lo stato o l'insieme di stati verso cui «è attratto», in cui si stabilizza il comportamento di un sistema dinamico.

AUTOREFERENZIALE: Proprietà di un linguaggio di avere la capacità di parlare di se stesso ed in particolare delle regole su cui si costituisce la significanza delle sue formule (p.es., nei linguaggi naturali, è possibile scrivere delle grammatiche di una determinata lingua nella medesima lingua, così scrivere in italiano delle grammatiche della lingua italiana). Nei linguaggi formali, le proposizioni A. sono le migliori candidate all'indecidibilità (v. *completezza*). In questo senso, generalmente si afferma che i linguaggi naturali sono autoreferenziali solo perché celano in se stessi delle incoerenze (contraddizioni) e/o delle ambiguità.

BEN FORMATA (di una frase, di una formula o di un'espressione, etc.). Costruita in modo da essere *grammaticalmente corretta*. Nei sistemi e nei linguaggi formali: *formula ben formata** (fbf) è la formula costruita seguendo le regole di formazione (costruzione e trasformazione) o regole della *sintassi* di quel *linguaggio formale* (v.) o *sistema formale* (v.).

CALCOLO DEI PREDICATI (V. LOGICA DEI PREDICATI)

CALCOLO DELLE PROPOSIZIONI (V. LOGICA DELLE PROPOSIZIONI)

CERCHIO MASSIMO. Un cerchio tracciato sulla superficie della sfera che ha lo stesso raggio di questa. L'arco minore di un C. passante per due punti situati sulla superficie della sfera è il più breve di tutti gli archi che li congiungono o *geodetica* (v.), situato interamente sulla superficie.

CINEMATICA (V. MECCANICA).

COMPLETEZZA (DEI LINGUAGGI O SISTEMI FORMALI): Con C. di un *linguaggio formale* (v.) o di un *sistema formale* (v.) si intende quella proprietà per cui tale sistema è sufficiente per decidere di ogni proposizione correttamente costruita (p.es., coerentemente dedotta) e/o formulata a partire dalle proposizioni - base (primitivi, assiomi, regole di inferenza) di quel linguaggio. In altri termini, C. di un sistema assiomatico consistente significa che dev'essere possibile dimostrare in quel sistema ogni formula dimostrabile o la sua negazione. Così, per poter accertare effettivamente la C. di un linguaggio formale è indispensabile poter garantire che tutte le proposizioni correttamente costruite all'interno di quel linguaggio godano della

proprietà della *decidibilità* (V. CONSISTENZA, DECIDIBILITÀ, INCOMPLETEZZA, TEOREMI DI).

CONNOTAZIONE (DI UN OGGETTO): L'insieme delle relazioni logiche che il termine denotante (v. DENOTAZIONE) l'oggetto possiede, e mediante cui l'oggetto stesso può essere *identificato* dagli agenti della comunicazione, limitatamente al contesto linguistico in cui il termine denotante è usato. Le relazioni logiche suddette, possono essere sia *intra–linguistiche*, di tipo *sintattico* e *semantico*, fra il termine e le altri parti del linguaggio cui appartiene, sia, eventualmente, *extra–linguistiche*, di tipo *pragmatico*, fra gli agenti della comunicazione stessa. Ciò al fine di giustificare particolari funzioni di C. attribuite al termine, entro contesti delimitati e particolari di uso comunicativo del linguaggio.

CONSISTENZA (DEI LINGUAGGI FORMALI): Un linguaggio formale si dice consistente se non contiene formule contraddittorie, ovvero quando non si da il caso che una delle sue formule e la sua negazione siano costruibili (se assiomi) o dimostrabili (se teoremi) in esso.

COSTRUTTIVISMO: Teoria filosofica sui fondamenti della matematica che afferma che l'esistenza di un ente matematico non è indipendente dai metodi per costruirlo e/o calcolarlo (v. METODO COSTRUTTIVO).

COSTRUTTIVO (V. METODO COSTRUTTIVO)

DECIDIBILITÀ: Un enunciato formulabile all'interno di un dato *linguaggio formale* (v.) o *sistema formale* (v.) si dice decidibile se è dimostrabile (sintatticamente, cioè derivabile) come vero o falso all'interno di tale sistema, *indecidibile* altrimenti. (V. COMPLETEZZA; INCOMPLETEZZA, TEOREMI DI).

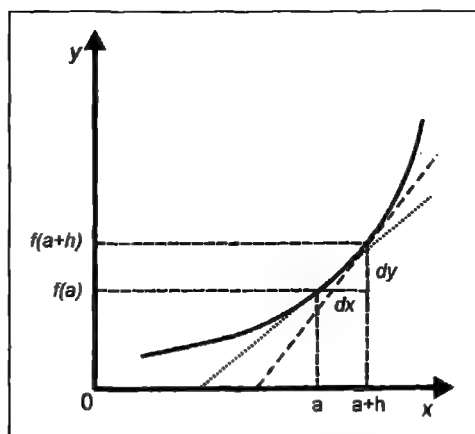
DEDUCIBILITÀ: Proprietà di una formula di poter essere dedotta come conclusione di un argomento valido, all'interno di un dato *linguaggio formale* (v.) o *sistema formale* (v.).

DEDUZIONE: Procedura tipica della matematica e della logica nella quale una formula *ben formata* (v.) di un determinato *linguaggio formale* (v.) o *sistema formale* (v.) segue necessariamente dalla premesse poste. Tale conclusione quindi non può essere falsa quando le premesse sono vere.

DENOTAZIONE (DI UN TERMINE): Con D. si intende in logica (semantica) l'oggetto intra– o extra–linguistico cui un termine si riferisce, oggetto identificato contestualmente mediante l'insieme di relazioni logiche che il termine medesimo possiede e che costituiscono la *connotazione* (v.) dell'oggetto in questione, entro il contesto limitato di

quel linguaggio e, eventualmente, di un determinato ambito comunicativo fra gli agenti della comunicazione stessa.

DERIVATA: La D. di una funzione *f*(*x*) in un punto $x = a$ viene definita come il limite del rapporto fra l'incremento della funzione *dy* o *df*(*x*) e il relativo incremento della variabile *dx*. Tale nozione è risultata di fondamentale importanza per lo sviluppo dell'analisi infinitesimale. Geometricamente la D. corrisponde alla nozione di tangente ad una curva in un punto dato. Fisicamente, la D. corrisponde alla variazione istantanea o locale di una grandezza (p.es., in meccanica, la velocità rispetto al moto). Con D. si denota anche la funzione che si associa ad una data funzione *f*(*x*), al variare del punto in cui viene derivata. La D. viene indicata con scritture del tipo:

$$\frac{d}{dx}f(x) \qquad f'(x) \qquad D_x f(x)$$

Naturalmente esistono derivate *di ordine superiore* al primo, ovvero derivate di derivate (*derivate seconde*, p.es. in meccanica, la variazione istantanea di una velocità o accelerazione), derivate di derivate di derivate (derivate terze), etc. Esistono anche le *derivate parziali* con cui si indica la D. di una funzione a più variabili rispetto a una di queste. La D. parziale si indica con scritture del tipo:

$$\frac{\partial}{\partial x}g(x,y) \qquad D_x h(x,y,z)$$

DIFFERENZIALE (V. EQUAZIONE DIFFERENZIALE).

DIMOSTRAZIONE PER ASSURDO (v. REDUCTIO AD ABSURDUM).

DINAMICA: (v. MECCANICA)

DOMINIO (V. ESTENSIONE).

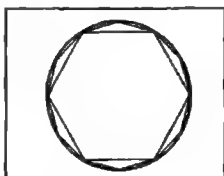
DOPPIA NEGAZIONE (v. REDUCTIO AD ABSURDUM)

EQUAZIONE DIFFERENZIALE: Un'equazione si dice differenziale se la funzione incognita (o le funzioni incognite) compare attraverso il suo valore e il valore delle sue *derivate* (v.). Un'E.D. ordinaria — che ha cioè come incognita il valore di una funzione di variabile reale o complessa (espressa in termini di numeri reali o complessi) — di ordine $n$, ha la seguente forma generale:

$$F\left(x, y', y'', \ldots, y^{n-1}, y^{n}\right) = 0$$

dove $y', y'', \ldots, y^n$ indicano, rispettivamente, la derivata prima, seconda, …, di ordine $n$ della funzione $y = f(x)$. Oltre a metodi analitici di calcolo della soluzione esatta, esistono metodi numerici di approssimazione della soluzione (p.es., metodo alle differenze finite) di equazioni differenziali (o di sistemi di equazioni differenziali), alcuni dei quali possono essere resi mediante procedure iterative eseguibili al calcolatore. Ciò rende possibile simulare al computer, almeno parzialmente, il comportamento di certi sistemi di equazioni differenziali, anche di quelli per i quali non esiste soluzione analitica (p.es., sistemi non-lineari complessi).

EQUIVALENZA: Relazione generalmente indicata col simbolo «$\equiv$» che soddisfa le proprietà di *riflessività* ($a \equiv a$), *simmetria* (se $a \equiv b$ allora $b \equiv a$) e *transitività* (se $a \equiv b$ e $b \equiv c$, allora $a \equiv c$). In *logica proposizionale* (v.) ciò corrisponde alla relazione di *bicondizionalità* (condizione «se e solo se») fra enunciati. Più generalmente, nella *logica delle classi,* quando si ha a che fare con collezioni, due classi sono dette equivalenti quando sono composte dalla medesima collezione di elementi (V. IDENTITÀ; UGUAGLIANZA).

ESAUSTIONE (PRINCIPIO DI): Principio definito da Eudosso e che nel *Libro degli Elementi* di Euclide viene così definito: «Se da una qualsiasi grandezza si sottrae una parte non inferiore alla sua metà (o terza, o quarta, o quinta… parte *N.d.R.*) e se dal resto si sottrae ancora non meno della seconda (o terza, o quarta, o quinta… parte *N.d.R.*), e se questo processo di sottrazione viene continuato, alla fine rimarrà una grandezza inferiore a qualsiasi altra grandezza dello stesso genere precedentemente assegnata».

In tal maniera veniva introdotto per la prima volta in matematica, anche se in una forma fortemente legata all'intuizione geometrica, il concetto di *limite* (v.), fondamentale per lo sviluppo moderno del calcolo infinitesimale e dell'*analisi matematica* (v.), sebbene in un contesto reso autonomo dall'intuizione geometrica e oggi completamente formalizzato e assiomatizzato.

ESTENSIONALE (V. ESTENSIONE).

ESTENSIONALITÀ (ASSIOMA DI): Assioma tipico dei linguaggi formali matematici, ma in generale di qualsiasi sistema assiomatico di indole scientifica secondo cui se due collezioni di oggetti, p.es. $A$ e $B$, contengono tutti e soli gli stessi elementi, sono cioè *equivalenti* (v.), sono la medesima collezione. In simboli: $A \subseteq B \cdot B \subseteq A \Rightarrow A = B$, cioè se $A$ è inclusa in $B$ e $B$ in $A$, allora $A$ e $B$ sono identiche (sono la stessa cosa). Questo assioma è fondamentale per tutte le definizioni scientifiche, in qualsiasi linguaggio formalizzato, non solo fisico e matematico. Quando infatti si designa un oggetto o collezione di oggetti (p.es. il fluido che esce da un rubinetto) in un determinato linguaggio «tecnico» lo si fa con un certo enunciato predicativo (p.es., in chimica coll'enunciato «$x$ è $H_2O$») che si presume di poter sostituire a quello di un altro linguaggio (p.es. nel linguaggio ordinario «$x$ è acqua») senza alterare la verità logica del discorso, semplicemente perché ambedue i predicati e/o enunciati predicativi hanno la medesima *estensione* (V.) o *dominio*. In altri termini, dall'assioma di E. discende immediatamente l'*assioma di sostitutività* (V.). Tutti i linguaggi che fra le proprie regole includono l'assioma di E. e l'assioma di sostitutività sono detti *estensionali*, o costruiti secondo la *logica estensionale* (V.). (V. EQUIVALENZA, ESTENSIONE; ESTENSIONALE, LOGICA; SOSTITUTIVITÀ, ASSIOMA DI)

ESTENSIONE: Nozione della logica formale, tratta *dall'analisi matematica* (v.) e dalla teoria delle *funzioni matematiche* (v.), con cui si designa la collezione di termini (non degli eventuali loro referenti extra-linguistici!) che costituiscono il *dominio* di un determinato *predicato* (v.). Tali termini possono essere eventualmente considerati come *denotanti* oggetti extra–linguistici (naturali, ideali, logici, matematici, fantastici, o altro), i quali per questo sono detti anche *referenti* degli enunciati predicativi costruiti mediante quel predicato. P.es., dato il predicato «essere acqua», il dominio o E. di tale predicato è costituito da tutti i nomi che designano oggetti che sono acqua (molecole di $H_2O$, gocce, fiumi, ruscelli, etc.). (V. DENOTAZIONE; ESTENSIONALITÀ, ASSIOMA DI; SOSTITUTIVITÀ, ASSIOMA DI; ESTENSIONALE, LOGICA).

FBF. Formula *ben formata* (v. BEN FORMATA).

FORMALISMO (V. FORMALISTA, PROGRAMMA DI RICERCA)

FORMALISTA (PROGRAMMA DI RICERCA): Programma di ricerca nella scienza logica inaugurato da David Hilbert all'inizio di questo secolo che identifica il linguaggio formale con una pura manipolazione di simboli secondo regole sintattiche, in modo da prescindere nell'analisi logica dal contenuto semantico dei simboli linguistici stessi.

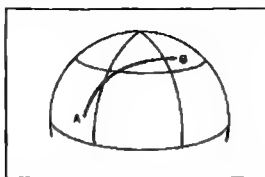
FORMALIZZAZIONE: Sforzo sistematico per tradurre una teoria, espressa fino a quel momento in maniera non rigorosa, generalmente mediante il linguaggio ordinario, in termini di *linguaggio formale* (v.). In tal senso il termine F. è divenuto praticamente sinonimo di assiomatizzazione o di uso del metodo assiomatico nella costruzione ed esposizione delle teorie, siano esse scientifiche, matematiche, filosofiche o altre. (V. LINGUAGGIO FORMALE, LINGUAGGIO OPERAZIONALE, OPERAZIONALIZZAZIONE).

FUNTORE: (V. PREDICATO)

FUNZIONE MATEMATICA: (o «applicazione», «mappa», «corrispondenza univoca»). Relazione fra due insiemi di grandezze matematiche, chiamati rispettivamente *dominio* (v.) e *codominio* (*range*) della F.. Essa associa ad uno o più elementi del dominio (variabile(i) indipendente(i)) uno ed un solo elemento del codominio (variabile dipendente o immagine). Una F. può essere sinteticamente denotata con la scrittura $y = f(x)$, dove $y$ rappresenta la variabile dipendente o «codominio» e $x$ la variabile indipendente o «dominio» (v. DERIVATA, LIMITE).

FUNZIONE PROPOSIZIONALE: Espressione dove la struttura formale della proposizione viene trattata in analogia con le espressioni matematiche ed in particolare con le *funzioni matematiche*. Infatti, come già scoperse Aristotele, ciò che caratterizza generalmente la validità

delle procedure dimostrative è la *forma* della dimostrazione, a prescindere dal *contenuto* (= termini o proposizioni di vario significato) di tale forma, che può dunque variare senza che la validità della dimostrazione ne risulti influenzata. In tal modo ogni espressione contenente *variabili*, sia che essi siano termini o proposizioni, può definirsi come *funzione proposizionale* sul modello delle *funzioni matematiche* (v.) del tipo *f*(*x*) che sono anch'esse espressioni che contengono *variabili*. In base a tale analogia, il *predicato* o *funtore* corrisponde alla «*f* « visto che ambedue determinano il rispettivo *argomento variabile* «*x*». Bisogna però distinguere fra funzioni proposizionali e funzioni matematiche per due serie di motivi:
1) perché mentre le variabili nelle prime possono essere sostituite da termini o proposizioni, nelle seconde solo con numerali, termini che designano numeri;
2) perché, mentre le prime possono essere definite vere (o false) se e solo se le variabili sono *esplicitamente vincolate* dall'uso dei quantificatori, le seconde non richiedono l'esplicitazione dei *quantificatori*, anche se si può dire che ad esse è sempre sottinteso il «quantificatore universale» («per tutti» o «per ogni»).

GEODETICA: La curva più breve, situata interamente sulla superficie, che unisce due punti su una superficie curva. Ad esempio, la curva in grassetto nella figura è una G. che unisce i due punti *A* e *B* sulla semisfera. G. è detto anche un arco di *cerchio massimo* (v.) della sfera.

GEOMETRIA. Parte dèlla matematica che studia le proprietà delle figure, la loro collocazione nello spazio e le loro generalizzazioni anche molto astratte. Dai greci fino al secolo scorso ha costituito il paradigma di scienza apodittico–deduttiva. Oggi, dopo la sua rigorosa assiomatizazione che l'ha resa scienza ipotetico–deduttiva, si distinguono in essa diverse branche come la G. analitica, differenziale, euclidea, non–euclidea, riemaniana, proiettiva, etc.

GRADO DI LIBERTÀ: Il termine denota una delle grandezze monodimensionali (variabili o parametri) mutuamente indipendenti che determinano lo stato di un sistema fisico. P.es. una data massa di gas, ha due G. da scegliersi fra le variabili termodinamiche di volume, temperatura e pressione.

IDENTITÀ: Relazione che associa solo elementi identici. Generalmente, ma molto imprecisamente, due o più entità sono identiche se sono la medesima entità. Logicamente (semanticamente), due espressioni (termini o proposizioni) equiformi sono identiche se e solo se denotano un medesimo oggetto. Tale oggetto è ciò che gli antichi definivano *essenza*. Per questo metafisicamente si può dire che due oggetti sono identici se *la loro essenza è una* (Aristotele), dove «è» va preso non nel senso di «esistere», ma nel senso dell'«essere dell'essenza» o *entità* (Tommaso). P.es., un uomo prima bambino poi adulto sono il medesimo ente o la medesima entità perché la loro essenza è una. Attenzione: è scorretto dire «hanno la "medesima" essenza», perché l'essenza è un *unicum* non confrontabile, riferentesi solo a se stessa. Ed infatti se usassimo quest'espressione scorretta riguardo all'essenza, si aprirebbe un regresso all'infinito, perché sarebbe lecito domandarsi: «medesima» rispetto a cosa? In tal senso, ogni individuo è identico solo a se stesso, essendo egli, prima di qualsiasi altra attribuzione, la sua propria essenza *singolare, unica* che lo distingue da qualsiasi altro. Nei termini della dottrina dei trascendentali tomista, si dice che ogni ente è *un'entità* unica inconfrontabile, irripetibile, oltre che un *esse aliquid* un «esser qualcosa» rispetto a qualcos'*altro*.
D'altra parte, due individui distinti possono essere definiti identici se e solo se soddisfano alla medesima definizione, ovvero se è attribuibile ad essi veritativamente la medesima *quidditas* o essenza *specifica* in quanto definita. P.es., Giacomo Giovanni e Luisa, se considerati in se stessi come individui sono non - identici. Siccome però sono tutti umani, sono cioè identicamente «uomini», essi soddisfano la definizione di «essere umano».
È un grave errore, comunque, tipico del riduzionismo scientista confondere l'I. con l'*equivalenza* (V.) e l'*uguaglianza* (V.).

IDEOLOGIA: Collezione di idee, più o meno sistematizzate in una coerente visione d'insieme e che generalmente vorrebbero abbracciare tutta la realtà, ma che mirano effettivamente solo al perseguimento e al mantenimento degli interessi e/o degli scopi di un particolare gruppo sociale.

INCOMPLETEZZA (TEOREMI DI): Dimostrazioni originariamente ottenuta da Kurt Gödel a proposito dell'aritmetica assiomatica ma poi estese da A. M. Turing e A. Tarski a tutti i linguaggi formalizzati o sistemi assiomatici che abbiano il grado di coerenza minimo da includere l'aritmetica formale — generalmente, l'aritmetica formalizzata nell'assiomatica di Peano (Cfr. nota 20, p.76). In base a tali teoremi, ogni linguaggio formale che soddisfi ai suddetti requisiti conterrà *necessariamente* formule *indecidibili* ovvero che non godono della proprie-

tà di *decidibilità* (v.). Per questo nessuno di quei linguaggi gode della proprietà di *completezza* (v.) [Primo teorema di incompletezza]. Fra tali asserti indecidibili particolare rilievo hanno gli asserti *autoreferenziali*, ovvero asserti costruiti in quel linguaggio mediante cui si affermino proprietà semantiche quali la *consistenza* (v.) [Secondo teorema di Gödel] o la *verità* [Teorema di Tarski] di quel linguaggio (V. COMPLETEZZA).

INDECIDIBILITÀ (V. DECIDIBILITÀ, COMPLETEZZA, INCOMPLETEZZA).

INTENSIONALE (V. LOGICA INTENSIONALE).

INTENSIONE: Nell'accezione comune, I. sta per «ciò che si intende» mentalmente con un determinato termine o proposizione, in quanto distinto dall'oggetto cui il medesimo termine o proposizione si riferisce. P.es., ciò che s'intende col (sull'intensione del) termine «sale», in quanto distinto dall'oggetto extra–mentale fisico, la sostanza bianca, cristallina contenuta nella saliera. In logica ed in analisi linguistica l'I. (da non confondere con la nozione epistemologica e psicologica di «intenzione») è il termine con cui si designa la *proprietà* connotante – in quanto distinta dall'*estensione* (v.) o *dominio* – di un determinato predicato. In altri termini, con I. si designa il *riferimento* – in quanto distinto dal *referente* (v.) – degli enunciati predicativi costruiti mediante quel predicato. Generalmente l'I. designa quella qualità o proprietà espressa dal predicato ed attribuita dal medesimo a tutti quegli oggetti denotati dai termini che costituiscono il *dominio* o l'*estensione* (v.) di quel predicato. Caratteristica dell'I. di un predicato è che due diversi predicati, con diverse I., possono avere il medesimo referente e, formalmente, la medesima estensione. Due predicati cioè possono riferirsi al medesimo oggetto o collezioni di oggetti con diverse I. o diversi significati (p.es., il predicato «essere acqua» e il predicato «essere $H_2O$»). Per gli oggetti intensionali come i significati, insomma, non vale *l'assioma di estensionalità* (v.). Dal punto di vista dell'oggetto referenziale, ciò implica che un medesimo oggetto in diversi contesti può essere caratterizzato con diverse qualità o proprietà.

INTERPRETAZIONE. Attribuzione di significato ai termini di un *sistema formale* (v.). Ovvero un'attribuzione di *denotazione* (v.) a un termine o all'*estensione* (v.) di un predicato in un sistema formale in modo che le *fbf* (v.) del sistema hanno un valore di verità nell'interpretazione.

ISOTROPO. Carattere dello spazio fisico e matematico astratto per cui tutte le direzioni attorno ad un punto sono equivalenti. Così, per esempio, in un mezzo fisico I. (p.es., un gas), tutte le onde luminose si propagano alla medesima velocità in tutte le direzioni. Nelle medesime condizioni, la stessa proprietà vale per la conducibilità termica,

la resistenza elettrica, etc. che hanno i medesimi valori in tutte le direzioni. Contrario: *anisotropo* (v.).

LIMITE. Valore $l$ che si associa ad una *funzione matematica* $f(x)$ (v.) e ad un punto detto di accumulazione $a$ appartenente all'insieme $\{x\}$ che costituisce il suo *dominio* (v.). Questo valore $l$ esiste se, fissato un numero arbitrariamente piccolo $\varepsilon$, è possibile individuare un intorno di $a$ tale che per ogni valore di $x$ appartenente ad esso e diverso da $a$, $f(x)$ differisca da $l$ per una quantità $\delta$ minore di $\varepsilon$. In tal caso si dice che la $f(x)$ tende a $l$ per $x$ tendente ad $a$. Il concetto di L. è fondamentale per una presentazione rigorosa, assiomatica, dell'intero calcolo infinitesimale (v. FUNZIONE MATEMATICA, DERIVATA).

LINGUAGGIO FORMALE (O TEORIA FORMALE). Con linguaggio (o teoria) formale s'intende nella logica moderna un linguaggio costruito in maniera non ambigua, ovvero un *sistema formale* (v.) per il quale è fornita un'*interpretazione* (v.). Si tratta cioè di un linguaggio in cui i termini e/o le proposizioni che appartengono a tale linguaggio sono tutti rigorosamente *dichiarati*, o *definiti*, o *dimostrati* in forma non contraddittoria, man mano che vengono aggiunti al linguaggio stesso.
In particolare, in tale linguaggio devono essere innanzitutto *dichiarati* quelli che sono i *primitivi* di quel linguaggio, ovvero termini e proposizioni elementari (soggetto - predicato) che non vengono rigorosamente definiti all'interno del linguaggio, ma che si suppongono conosciuti, visto che saranno usati per costruire le successive definizioni. Ciò che caratterizza un linguaggio formalizzato sono poi le *proposizioni - base* di esso:
1) Fra di esse, innanzitutto, vi sono gli *assiomi*, proposizioni non dimostrate e non dimostrabili entro quel linguaggio da cui formare per dimostrazione successive proposizioni. Essenziale per la rigorosa costruzione di un linguaggio formalizzato è che i suoi assiomi siano in numero finito, che sia dimostrabile la loro reciproca non - contraddittorietà e che siano effettivamente tali, ovvero non deducibili dagli altri assiomi del linguaggio.
2) Altro tipo di proposizioni - base sono le *definizioni* dei termini e delle operazioni usati per tali dimostrazioni.
3) Vi sono infine le *regole di inferenza* mediante cui altre proposizioni verranno successivamente e non ambiguamente dimostrate a partire dagli assiomi e dalle definizioni.
Tutte le altre proposizioni costruite a partire dalle *proposizioni-base* costituiranno così altrettanti *teoremi* di quel linguaggio.
Un tipo particolare di linguaggio formale è costituito dai *linguaggi operazionali* (v.), che sono tipici delle scienze matematico - sperimentali moderne, e che non vanno assolutamente identificati con i linguaggi

formali *tout-court* (v. FORMALIZZAZIONE, LINGUAGGIO OPERAZIONALE, OPERAZIONISMO).

LINGUAGGIO OPERAZIONALE: Forma particolare di linguaggio formale per esprimere teorie scientifiche di tipo sperimentale, tanto nelle scienze naturali che umane. Tale linguaggio, alla consueta assiomatizzazione tipica di ogni linguaggio formale, aggiunge la condizione ulteriore della trasformazione di ogni evento o processo espresso, descritto o spiegato da quella teoria in forma di operazione matematica su grandezze passibili di misura e controllo sperimentale. Siffatto controllo può essere effettuato mediante un opportuno apparato di misura, oppure mediante simulazione su un apparato di calcolo numerico (computer). La definizione delle operazioni di misura e/o del metodo di simulazione numerica, come metodi di controllo sperimentale delle affermazioni e delle previsioni della teoria, fa parte integrante dell'*operazionalizzazione* (v.) di essa, ovvero della sua traduzione in forma di linguaggio operazionale.

LOGICA DEI PREDICATI: Parte della *logica dei termini* (v.) che studia quei particolari termini della proposizione che sono i predicati. La L. è detta talvolta anche *calcolo dei predicati* nella misura in cui, seguendo il programma *formalista* (v.) che identifica il linguaggio formale con una pura manipolazione di simboli secondo regole sintattiche, si prescinde dal contenuto semantico dei simboli linguistici stessi. In tal senso, il dominio di oggetti su cui i predicati sono definiti si identifica esclusivamente con *nomi*, prescindendo completamente dal problema semantico della *designazione* di oggetti per mezzo di quei nomi. La L. è anche intimamente connessa con la *logica delle classi*, intendendo per classe quella collezione di oggetti cui il predicato che designa la classe può essere univocamente attribuito.

LOGICA DEI TERMINI: Parte della logica che ha per oggetto di studio i termini che costituiscono una proposizione e non le proposizioni stesse (V. LOGICA DELLE PROPOSIZIONI; LOGICA DEI PREDICATI).

LOGICA DELLE CLASSI (V. LOGICA DEI PREDICATI)

LOGICA DELLE PROPOSIZIONI: Parte della logica che ha per oggetto lo studio delle proposizioni e dei loro connettivi nella costituzione di un linguaggio. La L. è detta talvolta anche *calcolo delle proposizioni o proposizionale* nella misura in cui, seguendo il *programma formalista* (v.) che identifica il linguaggio formale con una pura manipolazione di simboli secondo regole sintattiche, si prescinde dal contenuto semantico dei simboli stessi. La L.P. intesa in questo senso è detta anche *estensionale* in quanto, seguendo Frege, si identifica l'estensione di un enunciato col suo valore di verità. Infatti nel calcolo proposizionale ordi-

nario, il valore di verità delle proposizioni composte è determinato unicamente dal valore di verità delle proposizioni componenti. I connettivi logici o predicati proposizionali sono perciò detti *vero-funzionali*. È chiaro però che non tutta la L.P. s'identifica con la logica estensionale. Gran parte delle proposizioni del linguaggio ordinario e generalmente dei linguaggi non–scientifici (filosofici, etici, giuridici, religiosi, etc.) seguono infatti una *logica intensionale* (v.).

LOGICA INTENSIONALE. Parte della *logica delle proposizioni* (v.) in cui il valore di verità delle proposizioni composte non dipende unicamente dal valore di verità delle proposizioni componenti, ma anche da considerazioni che riguardano anche il *significato o intensione* (v.) *delle proposizioni* componenti e/o, all'interno delle proposizioni elementari, *il significato o intensione dei termini* componenti. P.es., il valore di verità della proposizione composta: «Cesare scrisse il "De Bello Gallico" *mentre* combatteva nella Gallia» non può essere deciso solo in base alla sola verità (indubitabile) delle due proposizioni che la compongono, ma dipende anche da considerazioni che riguardano il significato di esse. Oppure, per decidere della verità della proposizione «È necessario che tutti gli uomini muoiano» non basta sapere che è vero che tutti gli uomini muoiono, occorre anche sapere che la mortalità è una proprietà che compete ad essi *essenzialmente*. Esistono molte L.T.: *temporali, modali, deontiche, epistemiche,* etc. tutte accomunate dal fatto che in esse non vale *l'assioma di estensionalità* (v.).

MECCANICA: Parte della fisica che studia il moto dei corpi e le leggi che lo governano. La M. può essere divisa in tre branche: 1) *cinematica,* che studia la formalizzazione geometrica dei moti dei corpi o di sistemi di corpi, ovvero il moto dei corpi indipendentemente dalle forze che lo determinano; 2) *statica,* che studia le forze che agiscono su un corpo in quiete; 3) *dinamica* che studia le leggi del moto in relazione alle forze che determinano il moto stesso.

MECCANICA RAZIONALE: Formulazione assiomatica della meccanica classica costruita in analogia con la geometria come un *sistema formale* (v.) ipotetico–deduttivo. Essa ha, come assiomi, le leggi fondamentali della meccanica e, come primitivi, nozioni come punto materiale, corpo rigido, vincolo liscio, fluido perfetto, etc. che sono altrettante idealizzazioni di oggetti fisici concreti

METALINGUAGGIO: Linguaggio usato per descrivere e definire intere categorie di linguaggi. Nell'ambito della teoria metalinguistica di Tarski, Carnap e Gödel (= *teoria della semantica formale*) il M. dev'essere necessariamente di un ordine logico superiore dei(l) linguag-

gi(o) - oggetto che sta definendo e di cui in particolare sta definendo le nozioni semantiche fondamentali (coerenza, verità, etc.).

METALOGICA: Nella nostra accezione molto generica del termine intendiamo con M. ogni teoria sui fondamenti della logica (V. METALINGUAGGIO).

METAMATEMATICA: Nella nostra accezione molto generica del termine, intendiamo con M. ogni teoria sui fondamenti della matematica.

METODO ASSIOMATICO (V. FORMALIZZAZIONE)

METODO COSTRUTTIVO (O RICORSIVO): Metodo di definizione e/o dimostrazione d'entità matematiche che non si limita semplicemente ad affermarne l'esistenza, ma specifica come queste possono essere definite o dimostrate nei termini di entità o operazioni più semplici. (v. COSTRUTTIVISMO)

METODO OPERAZIONALE (V. OPERAZIONALIZZAZIONE).

METODO STORICO - DIALETTICO: Metodo della filosofia hegeliana che pretendeva di ridurre la filosofia a storia della filosofia, applicando alla storia medesima il metodo dialettico della logica e della metafisica hegeliana, considerate ultimamente come *identiche,* secondo il principio–guida de: *l'ideale è reale* e viceversa (= idealismo trascendentale). Tale metodo voleva fondare le differenze, le determinazioni, nell'essere mediante il procedimento logico della doppia negazione (la *reductio ad absurdum* (v.) della logica classica). Ovvero, supponendo che l'essere fosse il più indeterminato ed astratto dei concetti (*genere generalissimo*) e dunque la negazione di ogni determinazione e specificità, si pretendeva che negando progressivamente ciascuna negatività (indeterminazione) si potesse via via fondare, mediante siffatto processo dialettico tutto l'insieme delle determinazioni mancanti che distinguono fra loro i vari enti. Il riferimento alla storia garantiva così la condizione necessaria per tale processo, che esso cioè non ripassasse mai per dove era già passato (la storia non si ripete mai identicamente). Errore sistematico di questo metodo è il dimenticare la condizione sufficiente per la sua consistenza. E cioè che la *reductio ad absurdum* non può essere mai usata come metodo costruttivo (= costitutivo dell'esistenza) di oggetti (p.es., le differenze fra gli enti), ma sua funzione può essere solo quella di evidenziare ciò che in altro modo (p.es., attraverso opportuni assiomi di esistenza, come nella matematica a proposito della nozione di continuo) è già stato posto come esistente. In tal caso, si darebbero due possibilità:

1) *o l'essere possiede già in sé come costituite tutte le determinazioni*, tutte le differenze fra gli enti che, allora, il metodo dialettico si limiterà a porre

in evidenza, senza mai pretendere di costituirle. Questa, per esempio, era già la posizione di Platone, riproposta, all'interno di un approccio immanentista moderno, da Emanuele Severino, con la sua idea di *intero o totalità dell'essere* già tutto definito e differenziato e dove dunque non esiste né tempo, né divenire, se non come pura apparenza interna al processo dialettico di manifestazione/nascondimento, delle differenze stesse. Tale approccio, tuttavia, proprio per questo suo immanentismo diventa contraddittorio come lo sono tutte le nozioni di *totalità universali infinite* (p.es., classi totali o insiemi universali) che pretendessero di avere in sé, completamente definito, il grafico delle relazioni fra gli elementi differenziati al loro interno.
2) Oppure, *occorre ipotizzare una fondazione causale dell'essere e delle sue determinazioni nei vari enti «dal di fuori» dell'universo degli enti*, e quindi «dal di fuori» dell'essere comune (esistenza) a tutti gli enti per ciò stesso contingenti. Questo è lo schema della partecipazione dell'essere come atto, come principio di tutte le determinazioni, già sviluppato nel Medio Evo da Tommaso d'Aquino, riproposto nel '900 da Cornelio Fabro per risolvere le inconsistenze sistematiche delle metafisiche moderne immanentiste, prima fra tutte quella hegeliana.

MODELLO. Un'*interpretazione* (v.) di un *sistema formale* (v.) rispetto alla quale i *teoremi* derivabili in tale sistema sono *veri*. Ovvero, una parte di un determinato *linguaggio formale* (v.) o *teoria formale* che riflette qualche aspetto di un fenomeno, o di un processo fisico, sociale o tecnologico e che permette di fare previsioni rispetto a quello. In tale senso ogni *teoria scientifica applicata* allo studio di un qualche oggetto del mondo fisico o umano, in quanto teoria o linguaggio formale, è un M. di un soggiacente sistema formale. P.es., *l'aritmetica* in quanto teoria scientifica dei numeri naturali è un M. del sistema formale basato sui cinque assiomi di Peano.

OPERAZIONALIZZAZIONE: Termine sintetico per significare l'uso del metodo operazionale nelle scienze empiriche e matematiche moderne. Con O. si intende lo sforzo sistematico per tradurre in termini di *linguaggio operazionale* (v.) una teoria su determinati fatti, oggetto di esperienza, espressa fino a quel momento in maniera non rigorosa, mediante il linguaggio ordinario (p.es., in una certa teoria filosofica). Generalmente la *formalizzazione* (v.) può costituire il primo passo verso l'O., ma quella non va comunque confusa con questa, pena il decadimento nell'*operazionismo* (v.). Infatti, determinate teorie (p.es., quelle metafisiche) sono passibili di formalizzazione, ma non di operazionalizzazione, visto che molti oggetti di cui parla la metafisica non sono oggetto di esperienza e men che mai di misurazione. (V.

LINGUAGGIO OPERAZIONALE, LINGUAGGIO FORMALE, FORMALIZZAZIONE, OPERAZIONISMO).

OPERAZIONISMO: (V. OPERAZIONISTA, PROGRAMMA DI RICERCA)

OPERAZIONISTA (PROGRAMMA DI RICERCA): Teoria filosofica propria della filosofia della scienza neo - positivista e del suo riduzionismo scientista, secondo la quale sono dotati di senso solo i *linguaggi operazionali* (v.) e solo le teorie espresse o esprimibili in quella forma (v. LINGUAGGIO OPERAZIONALE, LINGUAGGIO FORMALE).

PRAGMATICA (V. SEMIOTICA)

PREDICATO: Generalmente i P. vengono definiti come quelle parti del discorso che, applicati a termini e/o proposizioni, *costituiscono* o *producono* proposizioni. Nella logica formale moderna vengono definiti anche come *funtori* che determinano un particolare *argomento* che può essere costituito:

1) sia da un *termine,* sia esso un nome o un verbo. In tal caso i P. sono detti *predicati terminali.* P.es., «esser rosso» ha per argomento nomi sul tipo «fuoco», «sangue», etc., da cui «il fuoco è rosso», «il sangue è rosso»;

2) sia da una o più *proposizioni.* In tal caso i P. sono detti *predicati proposizionali.* Esempi tipici di tali P. sono i predicati *n* – argomentali tipici della *logica delle proposizioni* (v.) (negazione, implicazione, alternazione, esclusione, etc.: *v. sotto*), oppure, più generalmente, i meta – predicati semantici del tipo «è vero», «è falso», «è consistente», «è contraddittorio», «significa», etc., come nella proposizione «è vero che l'uomo è animale razionale».

Questa dizione dei P. come funtori è legata alla nascita della logica simbolica moderna, ed in particolare è legata a G. Frege, e alla sua definizione delle espressioni oggetto di analisi della logica formale come *funzioni proposizionali* (v.). Generalmente, perciò, come p.es., nel simbolismo di Russell, i predicati terminali vengono resi simbolicamente con espressioni tipo «$A(x)$» o, più sinteticamente e senza uso di parentesi mediante lettere greche, «$\varphi x$» – dove $x$ denota l'argomento e la prima lettera il funtore o P. – in analogia col simbolismo matematico delle funzioni $f(x)$.

Qui di seguito riportiamo la tabella dei principali predicati proprosizionali *mono* e *bi* –argomentali della *logica delle proposizioni* (v.), secondo il simbolismo di Lukasiewicz, Russell e Hilbert:

| | SIMBOLISMO DI | | | ESEMPI |
|---|---|---|---|---|
| | ŁUKASIEWICZ | RUSSELL | HILBERT | |
| VARIABILI PROPOSIZ. | p, q, r, s,... | p, q, r, s,... | A, B, C, D,... | |
| NEGAZIONE | Np | $\sim p$ | $\overline{A}$ | «*non* piove» |
| IMPLICAZIONE | Cpq | $p \supset q$ | $A \rightarrow B$ | «se piove *allora* fa freddo |
| ALTERNATIVA | Apq | $p \vee q$ | $A \vee B$ | «piove *o* nevica *o ambedue*» |
| ESCLUSIVA | Dpq | $p \mid q$ | $A \mid B$ | «o piove o c'è il sole» |
| EQUIVALENZA | Epq | $p \equiv q$ | $A \sim B$ | «piove *se e solo se* cade acqua dal cielo» |
| COPULATIVA | Kpq | $p \cdot q$ | $A \& B$ | «piove e tira vento» |

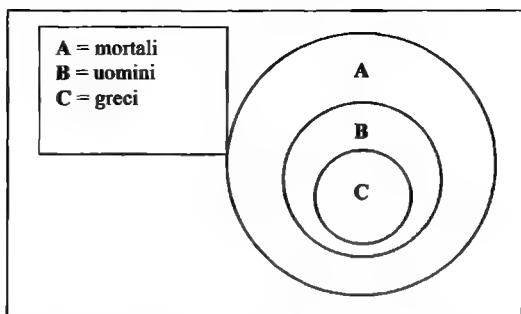
Vediamo, comunque, cosa tutto ciò significa in concreto. P.es., sia data la struttura del cosiddetto *sillogismo* (v.) *di prima figura* esaminato da Aristotele e che, secondo il simbolismo di Hilbert:

$$A \& B$$
$$B \& C$$
$$\therefore A \& C$$

«Tutti i (gli enti che sono) *B* sono anche *A*, tutti i *C* sono anche *B*, dunque tutti i *C* sono anche *A*». Come si vede, qualsiasi espressione venga sostituita alle variabili rappresentate dalle lettere dell'alfabeto *A*, *B*, *C*, la validità del ragionamento (sillogismo) resta invariata, purché a ciascuna variabile sia sostituita sempre la medesima espressione. P.es.. «Tutti gli (enti che sono) uomini sono (anche) mortali, tutti (gli enti che sono) greci sono (anche) uomini, dunque tutti (gli enti che sono) greci sono (anche) mortali». Oppure «Tutti i quadrilateri sono poligoni, tutti rettangoli sono quadrilateri, dunque tutti i rettangoli sono poligoni», etc. Secondo l'interpretazione data da Russell al calcolo sillogistico, ciascuna delle tre formule che costituiscono il suddetto sillogismo, andrebbe interpretata mediante la nozione

smo, andrebbe interpretata mediante la nozione di *implicazione formale* (= implicazione con premesse apoditticamente vere) così giustificata dal logico inglese in senso puramente *estensionale*:

$$\forall x\,(Bx \supset Ax) \cdot \forall x\,(Cx \supset Bx)) \supset \forall x\,(Cx \supset Ax)$$

ovvero: «per tutti gli $x$:: se $x$ è B, allora $x$ è A e se $x$ è C, allora $x$ è B; dunque, se $x$ è C, allora $x$ è A». La giustificazione che se ne dà è puramente estensionale, nel senso che, da Leibniz in poi, questo tipo fondamentale di sillogismo è stato interpretato come inclusione di tre classi di oggetti. Più esattamente, dato l'*assioma di comprensione** della teoria delle classi russelliana, ognuno dei tre predicati, A$x$, B$x$, C$x$ definisce una classe d'oggetti, rispettivamente **A, B, C.** All'*implicazione* «$\supset$» fra le proposizioni costituite dai rispettivi predicati corrisponde così l'inclusione «$\subseteq$» delle relative classi. Quindi, p.es., all'implicazione «$\forall x\,(Bx \supset Ax)$» corrisponde l'inclusione delle rispettive classi $\mathbf{B} \subseteq \mathbf{A}$ («**B** è inclusa in A»). Infatti, se è vero che per tutti gli enti $x$ di una determinata collezione (quella degli animali) l'essere uomo implica l'essere mortale, ciò è perché la classe degli uomini è inclusa nella classe dei mortali. Nell'ambito del simbolismo insiemistico di Eulero a cerchi concentrici, quest'interpretazione estensionale del sillogismo aristotelico di prima figura, può essere così schematizzata:

REDUCTIO AD ABSURDUM: o «dimostrazione per assurdo» o «metodo della doppia negazione». Procedura dialettica di dimostrazione mediante cui una data proposizione viene conclusa necessariamente da certe premesse dimostrando contraddittoria la sua negazione. La formula dimostrativa sarà dunque del tipo «*non* può *non* essere». P.es., nel famoso metodo delle «esaustioni» inventato da Eudosso (IV sec. a.C.), data una circonferenza, un poligono inscritto ed uno circoscritto, moltiplicando all'infinito i lati dei due poligoni, il loro perimetro *non* potrà *non* coincidere con la circonferenza. Questo tipo di dimostrazione è detto *debole* perché deve sempre supporre come già «al-

trove» *logicamente esistenti,* cioè completamente *determinati e definiti,* sia il *termine* da dimostrare (= nozione di limite delle due successioni) sia *l'infinità compatta ed omogenea dei termini* necessari per arrivarvi (= nozione di continuo). La R.A. cioè non è un metodo costruttivo di dimostrazione: per questo, fra l'altro, il *metodo storico–dialettico* (v.) hegeliano è logicamente inconsistente. Nel nostro esempio intuitivo, la circonferenza deve essere già descritta perché la dimostrazione sia valida. Se invece pretendessimo di costruire la circonferenza moltiplicando all'infinito i lati dei poligoni, per qual numero di lati comunque grande potremo mai dire di aver terminato la nostra costruzione? L'infinito non può mai essere approssimato «pezzo a pezzo»: un infinito in atto, progressivamente attualizzato a partire da un infinito in potenza (= infinito privativo), è una nozione contraddittoria, a differenza della nozione di infinito attuale (= infinito negativo). Archimede cercò allora di sfruttare tale limite della R.A. inventando un metodo «euristico» o «meccanico» di dimostrazione di teoremi geometrici. Calcolava prima empiricamente, mediante simulazioni sperimentali, la soluzione di un problema geometrico (p.es., il baricentro del braccio di leva), poi cercava di dimostrare la necessità logica di tale soluzione mediante R.A. Egli fornì così per la prima volta nella storia dell'occidente un esempio di fisica - matematica, anche se bisognerà aspettare l'invenzione moderna del calcolo infinitesimale e dell'*analisi matematica* (v.) ad opera di Newton e poi la loro giustificazione assiomatica mediante i lavori di D'Alembert, Cauchy e Weierstrass perché il «metodo meccanico» di Archimede acquisti la dignità di «sistema formale».

REFERENTE. Oggetto linguistico o extralinguistico denotato da una determinata parte del linguaggio, sia essa un termine o una proposizione.

RIFERIMENTO (V. INTENSIONE).

SEMANTICA (V. SEMIOTICA). (NEI LINGUAGGI FORMALI (V.)). Studio delle *interpretazioni* (v.) e dei *modelli* (v.) di un sistema formale e quindi della relazione fra la *struttura* (v.) di un sistema formale e l'insieme dei suoi oggetti. La S. ha dunque come oggetto i principi che determinano la verità o falsità delle formule e le referenze dei termini all'interno di un determinato *sistema formale* (v.) o *linguaggio formale* (v.).

SEMIOTICA: Con S. si intende la teoria generale dei segni, linguistici o altro. In tale accezione la logica può venir considerata come una parte della S., quella che ha a che fare con la teoria dei segni linguistici. Con *sintassi* (v.) s'intende genericamente la teoria delle relazioni fra i segni; con *semantica* (v.) si intende la teoria dei segni in relazione ai loro si-

gnificati; con *pragmatica* si intende la teoria dei segni in relazione a coloro che li usano. Nel campo della semantica si distingue la *denotazione* – o «significato» di un segno nell'accezione di Frege –, intesa come riferirsi di un segno ad un oggetto, dalla *connotazione* – o «senso» di un segno nell'accezione di Frege – come ciò mediante cui il segno denota un oggetto e quindi ne esprime in qualche modo (p.es.., in forma linguistica) il significato (p.es., come insieme di proprietà che caratterizzano l'oggetto). Per questo la connotazione viene definita anche «contenuto» semantico del simbolo. L'oggetto denotato o designato dal segno linguistico è anche definito in S. *referente* (v.) dell'enunciato predicativo, mentre il contenuto connotativo espresso dal segno costituisce il *riferimento* (v.) o *intensione* (v.) dell'enunciato.

SILLOGISMO (= letteralmente: tecnica di combinare parole). In generale inferenza deduttiva composta di tre proposizioni (la premessa maggiore, la minore e la conclusione), costruita in modo da dimostrare la conclusione dalla premessa maggiore, attraverso l'intermediazione della premessa minore. Secondo Aristotele — che per primo lo studiò sistematicamente facendone l'oggetto principale dello studio della logica formale — è il tipo perfetto del ragionamento deduttivo e ha come caratteristica essenziale quella di provare la connessione necessaria fra il soggetto e il predicato di alcune proposizioni (conclusioni), a partire dalla connessione necessaria fra soggetto e predicato di altre proposizioni opportunamente poste (premesse). Tale concatenazione di connessioni consente di inferire alcune affermazioni da altre non identiche a esse (V. PREDICATO). Oltre le diverse forme di sillogismo deduttivo (categorico o apodittico, con premesse comunque vere, e ipotetico, con premesse ipotetiche) Aristotele studiò anche il sillogismo induttivo, in cui la conclusione, opportunamente generalizzata, può essere presa come premessa universale per un sillogismo deduttivo di tipo ipotetico (sillogismo causale), tipico delle scienze fisiche.

SINTASSI (V. SEMIOTICA). (Nei LINGUAGGI FORMALI, V. e nei SISTEMI FORMALI (V.)). Sistema di regole (generalmente espresse in forma di *algoritmo* (v.)) che determinano tutte le *formule ben formate* (v.) entro un determinato *sistema formale* (v.). Tali regole sono stabilite completamente nei termini della struttura cui si applicano, ma in forma completamente indipendente dal significato o dalla verità delle formule alle quali si applicano

SISTEMA ASSIOMATICO (V. LINGUAGGIO FORMALE).

SISTEMA FORMALE (O CALCOLO FORMALE). Sistema simbolico senza *interprertazione* (v.), la cui *sintassi* (v.) è definita in un modo rigoroso e

sul quale è definita una relazione di *deducibilità* (v.) in termini puramente sintattici. Come i *linguaggi formali* (v.), d'altra parte, i S.F. sono costituiti da *termini primitivi, definizioni, assiomi, regole d'inferenza* e *teoremi*. In particolare, gli unici «significati» ammessi per i termini primitivi di un S.F. sono quelli determinati dal loro uso all'interno degli assiomi del sistema. In questo senso si dice che i «primitivi» «soddisfano» i relativi assiomi.

SISTEMA STOCASTICO. Si dice di qualsiasi processo fisico o matematico in cui sia presente almeno una variabile casuale o aleatoria. Esempio classico di S. è quello che segue l'equazione di Langevin che, nella definizione della variazione dello stato del sistema, separa nettamente il termine deterministico da quello non–deterministico o aleatorio.

SOSTITUTIVITÀ (ASSIOMA DI): Assioma tipico dei linguaggi formali matematici, ma in generale di qualsiasi sistema assiomatico di indole scientifica secondo cui se due enunciati, φ e φ' sono *equivalenti* allora l'uno può essere sostituito con l'altro senza che il valore di verità (verità o falsità) dell'enunciato medesimo ne resti influenzato. Un caso banale di *equivalenza* (V.) fra enunciati è quando i predicati che li costituiscono hanno la medesima estensione o dominio. In questo senso si dice che dall'*assioma di estensionalità* (V.) discende immediatamente l'assioma di S. Pur tuttavia la nozione di *equivalenza* (V.) è più ampia di quella di *identità* (V.), nel senso che due enunciati possono essere equivalenti, soddisfare cioè alla relazione di *bicondizionalità* («se e solo se»), senza che i loro significati o *intensioni* (v.) soddisfino a quella di *identità*, anche se l'inverso è sempre vero. Il problema è che la nozione d'identità implica sempre anche quella d'identità delle classi di appartenenza così come è definita nell'*assioma di estensionalità* (V.), condizione che invece la nozione di equivalenza non deve soddisfare. Si deve perciò distinguere fra sostitutività di enunciati per semplice equivalenza fra di essi e sostitutività di enunciati per identità dei rispettivi referenti.

P.es., se per ipotesi ammettiamo che «Francesco ha incontrato Giovanni se e solo se Francesco era a Roma» resta immutata la verità dell'espressione: «o Francesco ha incontrato Giovanni o Giovanni non ha potuto vendere la macchina a Francesco» quando sostituissimo il primo enunciato dell'alternativa con il suo supposto equivalente, così da ottenere: «o Francesco era a Roma o Giovanni non ha potuto vendere la macchina a Francesco». Ciò non implica però assolutamente l'identità della classe di oggetti definiti dal predicato «essere abitante di Roma» con quella di oggetti definiti dal predicato «essere incontrato da Giovanni», né che l'oggetto «Francesco» potesse essere definito soltanto mediante l'appartenenza a queste due clas-

si (nel senso che «essere Francesco» non è affatto identico all'unione di «essere abitante di Roma» ed «essere incontrato da Giovanni»), anche se *nell'occasione* qui enunciata effettivamente «Francesco» era elemento di ambedue le classi.
Questi paradossi della sostitutività sono alla base della distinzione aristotelica fra «definizioni essenziali» (*per se*) e «definizioni accidentali» (*per accidens*) di un oggetto. Per Aristotele, due oggetti sono infatti *identici*, solo se la loro essenza è *una* (attenzione: non se «hanno» la medesima essenza: ogni ente *è*, non *ha* la sua essenza: Cfr. 5.4.2, p. 330ss. v. *identità*), sono invece solo *simili* se hanno la medesima qualità o solo *uguali* se hanno la medesima quantità. Avendo la scienza moderna generalmente scelto di definire l'identità dei suoi oggetti semplicemente mediante soddisfacimento della condizione di equivalenza (bicondizionalità) dei rispettivi enunciati quantitativi e/o qualitativi che li denotano, essa si pone per ciò stesso al di sotto della possibilità di distinguere fra ciò che è essenziale o necessario (*per se*) e ciò che è solo accidentale o occasionale (*per accidens*) nella definizione di un oggetto (V. IDENTITÀ; EQUIVALENZA; INTENSIONE; ESTENSIONALITÀ, ASSIOMA DI)

SPAZIO DELLE FASI: In meccanica razionale e in meccanica statistica si prende in considerazione lo spazio delle fasi, cioè lo spazio a 2*n* dimensioni date dalle *n* coordinate e dagli *n* momenti di un sistema dinamico a *n* gradi di libertà. Lo stato di tale sistema è allora descritto da un punto nello spazio delle fasi, e il suo comportamento dinamico (che è una successione di stati) è ivi descritto da una traiettoria. Nello spazio delle fasi vale l'importante teorema di Liouville: si immagini di racchiudere in una superficie i punti di una regione dello spazio delle fasi; se gli stati descritti dai punti di questa regione evolvono dinamicamente, i punti si muoveranno lungo una traiettoria ben determinata, compatibile con la legge del moto; la superficie che dapprima la racchiudeva, sarà anch'essa mutata. Il teorema di Liouville afferma che in questo mutamento il volume racchiuso dalla superficie rimane sempre costante. Per esempio, se rappresentiamo in uno S. bidimensionale, con in ascissa la quantità si moto e in ordinata le posizioni, l'evoluzione dinamica di un pendolo che sta smorzando la sua oscillazione, tale evoluzione sarà rappresentata con una traiettoria a forma di spirale nello S. bidimensionale, con spire sempre più strette, fino a terminare in un *punto fisso* che rappresenterà la condizione di stabilità finale *statica* del pendolo, cui siffatto sistema tende (= attrattore di punto fisso). Viceversa, un pendolo opportunamente accelerato che si stabilizza in un'oscillazione definita (p.es., il pendolo di un orologio carico) descriverà nel medesimo S. bidimensionale, dopo un transitorio iniziale, una traiettoria a forma di curva chiusa

che rappresenterà la condizione di stabilità finale *dinamica* del pendolo stesso, cui siffatto sistema tende (= attrattore di ciclo limite).

STATICA (V. MECCANICA)

STOCASTICO (V. SISTEMA STOCASTICO)

STRUTTURA. Attribuzione ad un linguaggio di un insieme non vuoto di elementi (o *universo*) costituito da *individui* e quindi attribuzione di *predicati* (v.) ai simboli di tale linguaggio. Una S. per un sistema formale in cui alcuni assiomi sono veri è detto *modello* (v.) di quel sistema.

UGUAGLIANZA: Relazione matematica spesso assunta con significati diversi e generalmente denotata col simbolo «=». Riguardo ad una relazione che si pone fra due espressioni o membri dell'U. il termine indica che essi denotano lo stesso valore numerico o comunque la stessa entità. Se nelle due espressioni compaiono termini indefiniti, quando i due membri sono uguali, si parlerà di *equazione*. Se i due membri sono uguali per tutti i valori consentiti per le variabili (p.es.: nell'espressione: $x^2 - y^2 = (x - y) \cdot (x + y)$) oppure se non contengono elementi indefiniti ed individuano la stessa entità (p.es., nell'espressione: $3^2 + 4^2 = 5^2$), allora si parla di uguaglianza incondizionata o *identità* (V.). L'uguaglianza talora viene anche utilizzata per definire nuove notazioni, nel qual caso l'espressione al secondo membro deve contenere solo elementi noti. In questo caso, invece del simbolo «=» si usa il simbolo «:=» (uguale per definizione) per evidenziare il ruolo diverso dei due membri. P.es.: $\tan(x) := \sin(x) / \cos(x)$. Un evidente abuso del termine U. e del suo simbolo «=» si ha quando sono usati per denotare un'*equivalenza* (V.). (V. IDENTITÀ; EQUIVALENZA).

# Indice delle fonti aristoteliche e tomiste


ARISTOTELE (*An.Post.*). *Analytica Posteriora.* In: *Organon.*
— (*An.Pr.*). *Analytica Priora.* In: *Organon.*
— (*Cat.*). *Categoriae.* In: *Organon.*
— (*De An.*). *De Anima*, ROSS. W.D. (ED.). Oxford U.P., Oxford, 1956.
— (*De Gen.An.*). *De Generatione Animalium.* In: *Parva Naturalia*, ROSS W.D. (ED.). Oxford, 1955.
— (*De Interpr.*). *De Interpr.* In: *Organon.*
— (*De Sensu*). *De Sensu et Sensato.* In *Parva Naturalia*, ROSS W.D. (ED.). Oxford U.P., Oxford, 1955.
— (*Metaph.*). *Metaphysica*, ROSS W.D. (ED.). Oxford U.P., Oxford, 1957
— (*Phys.*). *Physica*, ROSS W.D. (ED.). Oxford U.P., Oxford, 1955[2].
— *Organon.* , WAITZ TH. (ED.), Hahn's Verlàg, Leipzig, 1844-46.
TOMMASO AQ. (*S.Th.*). *Summa Theologiae*, Caramello P. (Ed.). Marietti, Torino, 1952-1956.
— (*De Ente*). *De Ente et Essentia.* In: *Opuscula Philosophica.*
— (*De Mixt.Elem.*). *De Mixtione Elementorum.* In: *Opuscula Philosophica*
— (*De Nat.Mat.*). *De Natura Materiae.* In: *Opuscula Philosophica*
— (*De Pot.*). *De Potentia.* In: *Quaestiones Disputatae*, II v.
— (*De Ver.*). *De Veritate.* In: *Quaestiones Disputatae*, I v.
— (*In Boet.Hebd.*). In: *Librum Boetii De Hebdomadibus Expositio*, CALCATERRA M. (A CURA DI). In: Opuscula Theologica, II v.
— (*In de Trin.*). *Expositio super Librum Boethii De Trinitate*, DE-

CKER B. (ED.). Brill, Leiden, 1959.
— (*In Met.*). *In Duodecim Libros Metaphysicorum Aristotelis Expositio*, SPIAZZI R.M.(A CURA DI). Marietti, Torino, 1964
— (*In Perih.*). *In Aristotelis Libros Perì Hermeneias Expositio*. In: *In Aristotelis Libros Perì Hermeneias*, etc.
— (*In Phys.*). *In Octo Libros Physicorum Aristotelis Expositio*, MAGGIOLO P. (A CURA DI). Marietti, Torino, 1965.
— (*In Post.An.*). *In Aristotelis Libros Posteriorum Analyticorum Expositio*. In: *In Aristotelis Libros Perì Hermeneias*, etc.
— (*In Sent.*). *In Quatruor Libros Sententiarum Magistri Petri Lombardi Commentarium*, in *Opera Omnia*, tt.VI-VII, Parma, 1865-68.
— (*Q.de An.*). *Quaestio Disputata de Anima*, In: *Quaestiones Disputatae*, II v.
— (*Quodl.*). *Quaestiones Quodlibetales*, SPIAZZI R. (A CURA DI). Marietti, Torino, 1956[9].
— (*S.c.Gentes*). *Summa contra Gentiles*, MARC D.P. (A CURA DI). Marietti, Torino, 1967.
— (*In Perih.*). *In Aristotelis Libros Perì Hermeneias et Posteriorum Analyticorum Expositio*, SPIAZZI R. (A CURA DI). Marietti, Torino, 1964[2].
— *Opuscula Philosophica*, SPIAZZI R.M.(A CURA DI). Marietti, Torino, 1954.
— *Opuscula Theologica*. II v.: *De Re Spirituali*, SPIAZZI R. (A CURA DI). Marietti, Torino, 1954
— *Quaestiones Disputatae*, 2 voll. I v.: SPIAZZI R. (A CURA DI). Marietti. Torino, 19539; II v.: BAZZI P. ET AL.(A CURA DI). Marietti. Torino, 1965.

# Indice Analitico

*I numeri in grassetto si riferiscono alle pagine del testo in cui i termini sono definiti o spiegati. I numeri in corsivo alle pagine del Glossario dove, eventualmente, questi termini sono definiti.*

# Indice degli Autori

# Indice Generale